



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠENÍ AUTOMOBILOVÝCH KLIMATIZACÍ

TEST BEND FOR VEHICLE AIR-CONDITIONING TESTING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN ANDRÝS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Andrýs

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

v anglickém jazyce:

Test bend for vehicle air-conditioning testing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem je konstrukční návrh zařízení pro testování automobilových klimatizací bez instalace ve vozidle. Zařízení bude obsahovat elektrický pohon nahrazující spalovací motor a box simulující interiér vozidla. Návrh bude obsahovat i osazení měřicími čidly a návrh řízení zkušebního zařízení.

Cíle diplomové práce:

Základní konstrukční návrh ve formě výkresové dokumentace (Sestava zařízení). Základní výpočty a simulace, na kterých je návrh postaven. Návrh měření a regulace zkušebního zařízení. Návrh a popis zkušebního postupu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Cedrych Mario René, Schwarz Jiří, Automobily škoda FABIA. Grada, Praha 2002.
- [2] Gscheidle Rolf, Příručka pro automechanika. Sobotáles, Praha 2007.
- [3] Vlk František, Elektronické systémy motorových vozidel 1. Řízení motoru, Snímání dat, Vstřikovací systémy, Řízení převodovek, EOBD. Prof.Ing. František Vlk, DrSc. Nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002.
- [4] Vlk František, Elektronické systémy motorových vozidel 2.regulace a řízení podvozku, Systémy ABS/ASR, EPS, Komfortní systémy, Zadržné systémy, Informační systémy Prof.Ing. František Vlk, DrSc. Nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 18.11.2012

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Cílem této práce byl návrh zkušebního zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací. Zkušební zařízení má nahradit kabinu a motorový prostor vozidla.

Pro pohon kompresoru ve zkušebním zařízení slouží elektromotor. Vzduch přiváděný do klimatizačního zařízení vozidla je upraven na extrémní podmínky a jeho přiváděné množství simuluje pomalou jízdu rychlostí maximálně 50 km/h. Hlavní rám byl navržen z hliníkových profilů Bosch Rexroth, které zajišťují dobrou modularitu celého zařízení. Opláštění tvoří izolační panely od firmy ELCOM System, ty mají dobré izolační vlastnosti a poskytují i dostatečnou únosnost pro umístění různých měřících zařízení uvnitř zkušebního zařízení.

Konstrukční návrh byl proveden v systému SolidWorks a jeho výstupem byly 3D modely navrženého zkušebního zařízení. Vzorové prvky umístěné ve zkušebním zařízení pochází z vozu Škoda Octavia II. Pro toto vozidlo byly prováděny i výpočty tepelné zátěže.

V závěru práce je obsažen postup jednoduchého vzorového měření, které lze na tomto zkušebním zařízení provést a také byl proveden nástin dalších možných měření.

Klíčová slova:

klimatizace, automobily, Bosch, Rexroth, zkušební zařízení, klimakomora, ELCOM

Abstract:

The aim of this work was to design test bend for vehicle air-conditioning. This test bend should simulate interior of the car and the engine compartment.

Electric motor is used to drive compressor in test bend. Air supplied to test bend is modified to extreme conditions and the volume of supplied air is the same as the car drove at 50 km/h. Main frame of test bend is made from aluminium profiles manufactured by Bosch Rexroth, which provides great modularity. Walls are made from insulated panels by ELCOM System, they have very good insulation and are strong so additional equipment can be installed inside.

Construction design was made in SolidWorks with 3D models of test bend as output. Air-conditioning parts which were used as samples are originally from Skoda Octavia II. For this vehicle were made calculations of heat loads.

In conclusion is simple testing example for this test bend and although there are some examples for future measuring.

Key words:

air-conditioning, car, HVAC, Bosch, Rexroth, ELCOM, test bend

Bibliografická citace:

ANDRÝS, J. Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 109 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D..

Prohlášení:

Já, Jan Andrýs, prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne: 24.5.2013

.....
Jan Andrýs

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za vedení a odborné rady při vypracovávání této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat za cenné rady při zpracování Ing. Janu Fišerovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D.. Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu při vypracovávání této práce i při studiu.

Obsah:

1. Úvod.....	15
2. Základy automobilové klimatizace	17
2.1. Princip funkce automobilových klimatizací	17
2.1.1. Strana vzduchu.....	17
2.1.2. Strana chladiwa.....	17
2.2. Konstrukce automobilových klimatizací	20
2.2.1. Okruh vzduchu.....	21
2.2.2. Okruh chladiwa.....	23
3. Výpočet tepelné zátěže prostoru kabiny vozidla.....	31
3.1. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů	31
3.2. Tepelné zisky od vnějších zdrojů	32
3.2.1. Tepelné zisky prostupem okny	32
3.2.2. Tepelné zisky radiací okny	32
3.2.2.1. Sluneční deklinace.....	32
3.2.2.2. Výška slunce nad obzorem.....	33
3.2.2.3. Sluneční azimut	33
3.2.2.4. Osluněná plocha oken	33
3.2.2.5. Intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům.....	34
3.2.2.6. Intenzita difuzní sluneční radiace.....	34
3.2.2.7. Intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu.....	35
3.2.2.8. Propustnost standardního okna.....	35
3.2.2.9. Intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem.....	36
3.2.2.10. Intenzita přímé sluneční radiace procházející standardním oknem	36
3.2.2.11. Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem.....	37
3.2.2.12. Tepelný zisk sluneční radiací okny	37
3.2.3. Tepelné zisky prostupem karoserií	37
3.2.4. Výsledné tepelné zisky	41
3.2.5. Simulace tepelné zátěže v programu TRNSYS	42
4. Psychrometrické výpočty	45
4.1. Vlhčení parou	45
4.2. Vlhčení vodou	46
5. Pohon kompresoru.....	49
6. Konstruktivní řešení zkušebního zařízení.....	51
6.1. Použité konstrukční prvky	51
6.1.1. Univerzální profily a prvky od fy. Bosch Rexroth	51
6.1.2. Sendvičové panely od fy ELCOM SYSTÉM	55
6.1.3. Nástavec na hřídel elektromotoru	56
6.1.4. Uchycení kompresoru	57
6.2. Nosná konstrukce zkušebního zařízení.....	59
6.3. Opláštění zkušebního zařízení	68
7. Vytápění vnitřního prostoru pro simulaci tepelné zátěže.....	73
8. Zapojení prvků zkušebního zařízení	75
9. Měření a regulace	77
9.1. Měření.....	77
9.2. Regulace	77
10. Návrh jednoduché měřicí úlohy	79

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

11.	Závěr	81
12.	Použitá literatura	83
13.	Seznam použitých veličin	85
14.	Seznam obrázků	87
15.	Seznam rovnic	89
16.	Seznam tabulek	91
17.	Seznam příloh	93

1. Úvod

Tato práce se zabývá návrhem zkušebního zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací. Toto zařízení se skládá ze dvou oddělených prostorů. První nahrazuje vnitřní prostor kabiny vozu a umísťují se do něj výstky klimatizace a palubní deska. Druhý prostor nahrazuje motorový prostor vozidla a jsou v něm umístěny ostatní komponenty klimatizace jako výparník, kompresor apod. Uplatnění pro toto zařízení by mělo být hlavně při dlouhodobějších testech provozu automobilové klimatizace. Hlavní výhodou oproti zkoušení přímo v automobilu je zde nahrazení spalovacího motoru elektromotorem, který je ekonomičtější při dlouhodobém provozu a není u něj problém s doplňováním paliva. Díky tomu může test probíhat velmi dlouhou dobu a je tak možno otestovat i životnost jednotlivých komponent klimatizačního zařízení nejen jeho parametry. Návrh obsahuje i nástin měřících míst a jednoduché měřicí úlohy na tomto zařízení. Základní návrh zkušebního zařízení byl proveden na klimatizační zařízení a palubní desku vozu Škoda Octavia II, je však možné zařízení přizpůsobit pro většinu osobních vozidel a i některá užitková vozidla.

Nosná konstrukce zkušebního zařízení je tvořena hliníkovými profily. Díky tomu je možné celou konstrukci snad upravit pro každý konkrétní zkoušený automobil, respektive pro palubní desky z různých automobilů. Celá konstrukce je šroubovaná a není zde použito svařování, je proto možné celou konstrukci rozebrat a přemístit na jiné místo pokud je třeba. Pro přemístění na menší vzdálenosti je celá sestava vybavena pojezdovými koly s aretací. Pro opláštění byly použity fasádní izolační panely, které poskytly vhodné tepelně izolační vlastnosti i dostatečnou nosnost.

Pro možnost provozu testovacího zařízení nezávisle na okolním prostředí, ve kterém se zařízení nachází, je navrženo klimatizační zařízení na úpravu přiváděného vzduchu. Z důvodu požadavku na testování zejména extrémních podmínek, bylo toto klimatizační zařízení navrženo tak, aby dokázalo tyto extrémní podmínky simulovat. Vzhledem k tomu, že úkolem klimatizace je chlazení, byly jako extrémní podmínky zvoleny vysoká teplota a vlhkost při městském provozu (tzn. maximální rychlost 50 km/h). Nízká rychlost vozidla zapříčiňuje nízkou rychlost vzduchu proudícího přes kondenzátor a tím pádem i horší předávání tepla a je tak faktorem, který velmi ovlivňuje funkci celého klimatizačního systému. Upravený vzduch je pak přiváděn na kondenzátor a také nasáván do přívodního potrubí klimatizace. Vzhledem k požadavku na testování klimatizace je potřeba simulovat tepelnou zátěž v letním období. K simulaci této zátěže slouží elektrické vytápění umístěné na vnitřní straně konstrukce.

2. Základy automobilové klimatizace

Tato kapitola se zabývá principem funkce a obecnou konstrukcí automobilových klimatizací. Jedná se o zjednodušený výklad základních konstrukčních prvků a principu funkce pro pochopení toho jak celý systém automobilové klimatizace funguje, podrobnější popis není pro tuto práci důležitý a pro získání detailních informací je vhodné použít literaturu zabývající se pouze automobilovými klimatizacemi nebo klimatizacemi obecně.

2.1. Princip funkce automobilových klimatizací

Principiální fungování automobilových klimatizací je stejné jako u normálních klimatizací, které se používají u staveb. Hlavní rozdíl je však ve velikosti zařízení kdy u automobilových klimatizačních zařízení je kladen velký důraz na kompaktní rozměry neboť je potřeba celé zařízení umístit do omezeného prostoru. Dále je u automobilové klimatizace upravována pouze teplota vzduchu a vlhkost se neupravuje. Celkově pak můžeme automobilovou klimatizaci rozdělit na stranu vzduchu a na stranu chladiva.

2.1.1. Strana vzduchu

U klimatizací obecně chceme docílit ochlazení vzduchu přiváděného do určitého prostoru, u automobilových klimatizací je to vzduch přiváděný do prostoru kabiny vozu. Ochlazení se provádí na výparníku, kdy je teplo ze vzduchu odebíráno chladivem. Tento zchlazený vzduch pak proudí přes výstky do prostoru kabiny vozu a v její zadní části pak postupně ven z vozu. Vzduch je také využit pro odebrání získaného tepla chladivu, toto odebrání tepla chladivu probíhá v kondenzátoru, kde se páry chladiva zkapalňují. Za kondenzátorem máme ohřátý vzduch, který však v letním období není potřeba a je proto odváděn do motorového prostoru z kterého může volně odcházet pod vozidlo. U výparníku může být ještě umístěn i výměník pro ohřev vzduchu, ten nám vzduch zahřívá v zimních měsících pomocí chladící kapaliny motoru.

Okruh vzduchu je u automobilové klimatizace otevřený, polootevřený nebo uzavřený. U otevřeného okruhu je veškerý vzduch přiváděn z venkovního prostředí. U polootevřeného je část vzduchu přiváděna z interiéru vozidla a část z venkovního prostředí a oba proudy jsou následně míseny. Uzavřený okruh odebírá pouze vzduch z interiéru vozidla. U uzavřeného okruhu je potřeba brát v potah, že dojde ke zvýšení koncentrace škodlivin v přiváděném vzduchu. Mezi těmito třemi okruhy lze většinou volit na palubní desce vozidla, respektive se na palubní desce nachází tlačítko pro uzavření okruhu pokud vozidlo projíždí například oblastí se zvýšenou koncentrací škodlivin.

2.1.2. Strana chladiva

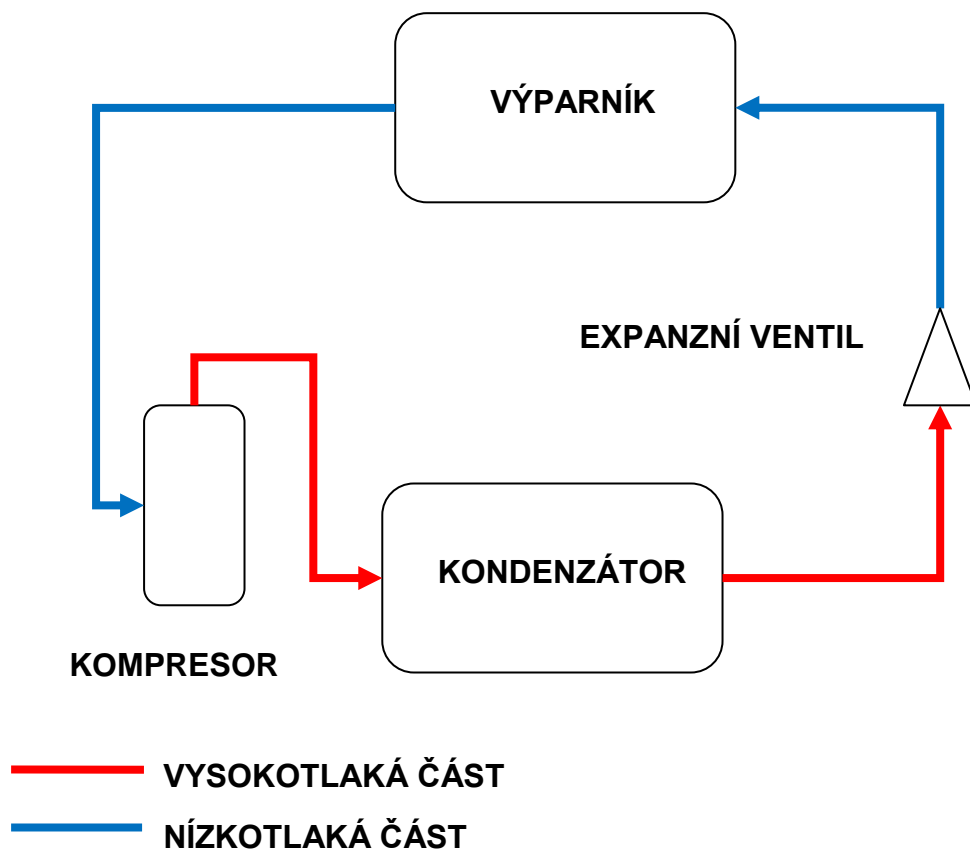
Na straně chladiva probíhá celý proces v uzavřeném cyklu. Cyklus probíhá následovně, kapalně chladivo je přes expanzní ventil vstřikováno do výparníku, zde dojde s poklesem tlaku ke snížení bodu varu. Jak velké bude snížení tlaku závisí na množství vstřikovaného chladiva a je regulováno expanzním ventilem (pokud nemá pevnou trysku), tlak musí klesnout natolik abychom teplotu varu dostali pod teplotu okolního vzduchu, tím se docílí toho že chladivo odebere teplo z okolního vzduchu k tomu aby se vypařilo, případně přehřálo, a za výparníkem je tedy už pouze plynné chladivo. Množství chladiva je také nutno regulovat z pohledu jeho přehřátí. Přehřátí je zvýšení teploty plynného chladiva nad teplotu

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

sytých par. Při přehřívání se zvyšuje pouze teplota par, přičemž potenciál tohoto tepla je daleko nižší než potenciál výparného tepla.

Po výstupu z výparníku chladivo putuje do kompresoru. Zde dojde ke zvýšení tlaku plynného chladiva. Na kompresoru opět dochází k přehřívání, za kompresorem je nejvýhodnější dosahovat teplot chladiva blízko teploty sytých par pro daný tlak. Tyto horké páry jsou pak vedeny na kondenzátor. Pokud máme páry přehřáté dojde nejprve k jejich zchlazení na teplotu sytých par, následně pak začnou páry chladiva kondenzovat a předávat tak nejvíce tepla vzduchu, který proudí na druhé straně teplosměnné plochy kondenzátoru. Teplota par musí být samozřejmě vyšší než je teplota vzduchu, jinak nedojde k výměně tepla a celý cyklus bude nefunkční. Za kondenzátorem odchází už pouze kapalně chladivo, avšak stále o vysokém tlaku. Toto kapalně chladivo jde opět do expanzního ventilu a celý cyklus se opakuje.

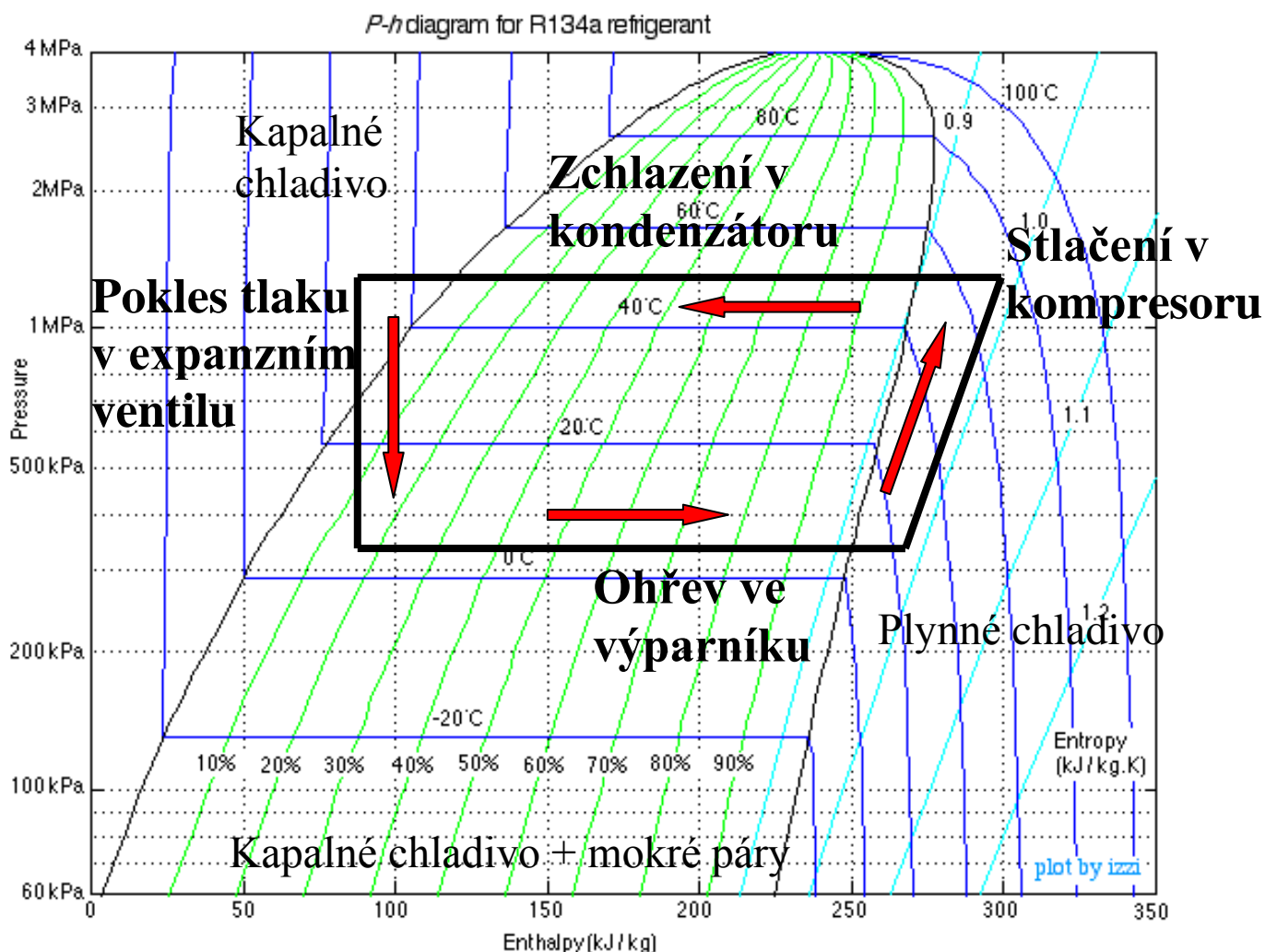
Někdy může být pro zvýšení účinnosti výparníku kapalně chladivo před vstupem do expanzního ventilu podchlazováno, toho můžeme využít zejména pokud kapalně chladivo má stále teplotu vyšší, než je teplota venkovního vzduchu a je tedy schopno i ve své kapalně podobě předat další teplo pryč. Vzhledem k dosahovaným tlakům je pak chladivový okruh nejčastěji dělen podle tlaků a to na nízkotlakou část, která se nachází mezi expanzním ventilem výparníkem a sáním kompresoru a vysokotlakou část, která se nachází mezi výtlakem kompresoru, kondenzátorem a expanzním ventilem.



Obr. 1 - Schéma chladivového okruhu (tvorba autora)

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Diagram závislosti tlaku a entalpie s ilustračním vyznačením jednotlivých dějů je zobrazen na obr. 2. Na tomto diagramu můžeme vidět nárůst tlaku a entalpie v kompresoru, poté dochází k poklesu entalpie při kondenzaci za konstantního tlaku a případné podchlazení zkondenzovaného chladiva. V expanzním ventilu pak poklesne tlak za konstantní hodnoty entalpie a může dojít k částečnému vypaření vstřikovaného chladiva. Chladivo, které se dostane do výparníku, pak za konstantního tlaku zvyšuje svou entalpii. Jak je z grafu patrné, vypařování ve výparníku probíhá za konstantní teploty. Teplota plynného chladiva se začne měnit až po dosažení meze sytosti, kdy už je odpařeno veškeré chladivo. Důležité ovšem je nedostat se s tlakem nad kritický bod, který se nachází na vrcholu křivky určující mez sytosti a mez mokrých par. Pokud by došlo k navýšení tlaku nad tento bod, chladivo už nelze za tohoto tlaku zkapalnit. Na druhé straně je potřeba také hlídat, aby se tlak nedostal na hodnotu při které by teplota na výparníku klesla pod 0 °C. Pokud by došlo k takovému poklesu, mohlo by dojít k tvorbě námrazy na výparníku, čímž by došlo ke snížení průtoku vzduchu a snížení účinnosti což je nežádoucí jev, kterému je potřeba se vyhnout.



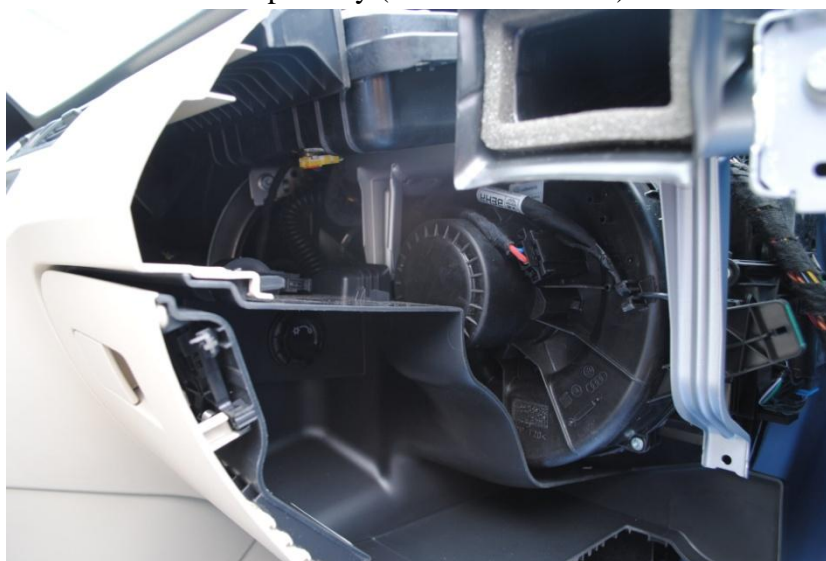
Obr. 2 - p-h diagram chladiva R134a, zdroj (1) + tvorba autora

2.2. Konstrukce automobilových klimatizací

Konstrukce automobilových klimatizací je velice podobná konstrukci klasických klimatizačních zařízení. Hlavní rozdíl je zejména ve velikosti, kdy kvůli nutnosti umístění do malého prostoru, musí být všechny komponenty co nejvíce zmenšeny, avšak nesmí to být na úkor funkčnosti celého zařízení. Všechny komponenty také musí být odolné vibracím, které mohou při jízdě automobilu po vozovce vznikat. Celý systém automobilové klimatizace pak můžeme rozdělit na okruh vzduchu a chladiva. Vytápění je zajištěno pomocí chladicí vody motoru automobilu a je tedy jen velmi málo závislé na venkovních podmínkách a úplně nezávislé na okruhu chladiva a tím pádem na klimatizaci jako takové a není tedy v této práci řešeno. Většina komponent obou okruhů pak tvoří jeden konstrukční celek, který je umístěn většinou za palubní deskou v prostoru kabiny vozu.



Obr. 3 - Konstrukční celek klimatizace obsahující výparník, směšování, ventilátor, filtr a další komponenty (foto archiv autora)

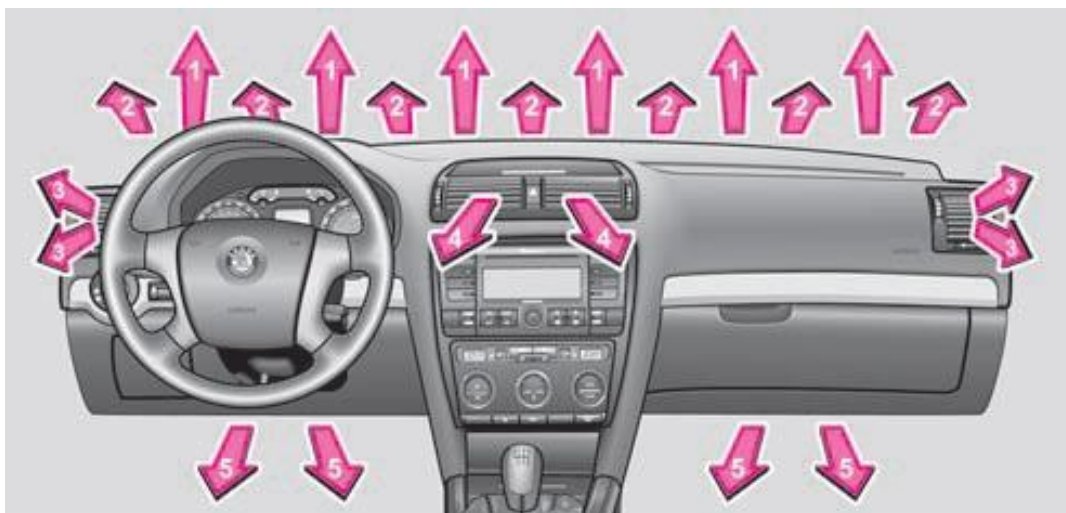


Obr. 4 - Umístění klimatizační jednotky za palubní deskou - pohled na ventilátor (foto archiv autora)

2.2.1. Okruh vzduchu

Vzduch pro klimatizaci je u automobilu vždy přiváděn z přední části vozu, nejčastěji můžeme sání vzduchu nalézt za přední maskou automobilu nebo na horní straně krytu motoru u čelního skla vozidla. Pokud je sání umístěno za přední maskou vozidla, není většinou chráněno proti vniknutí listí a podobně protože tuto ochranu mu poskytuje už sama maska vozidla, naopak pokud je sání umístěno na horní straně krytu motoru, je na jeho vstupu umístěna krycí mřížka, která zachycuje hrubé nečistoty jako listí, trávu a podobně.

Po nasátí vzduch proudí přes prachový filtr, pylový filtr a ventilátor do výparníku kde předává teplo chladiivu a tím se ochlazuje. Následně je přiveden do prostoru kabiny výstky umístěnými nejčastěji v palubní desce, některé výstky se nachází také pod předními sedadly, v bočních dveřích nebo ve středovém panelu. Umístění výstek u vozu Škoda Octavia II je vyobrazeno na obr. 5.



Obr. 5 - Umístění výstek v palubní desce vozu (2)

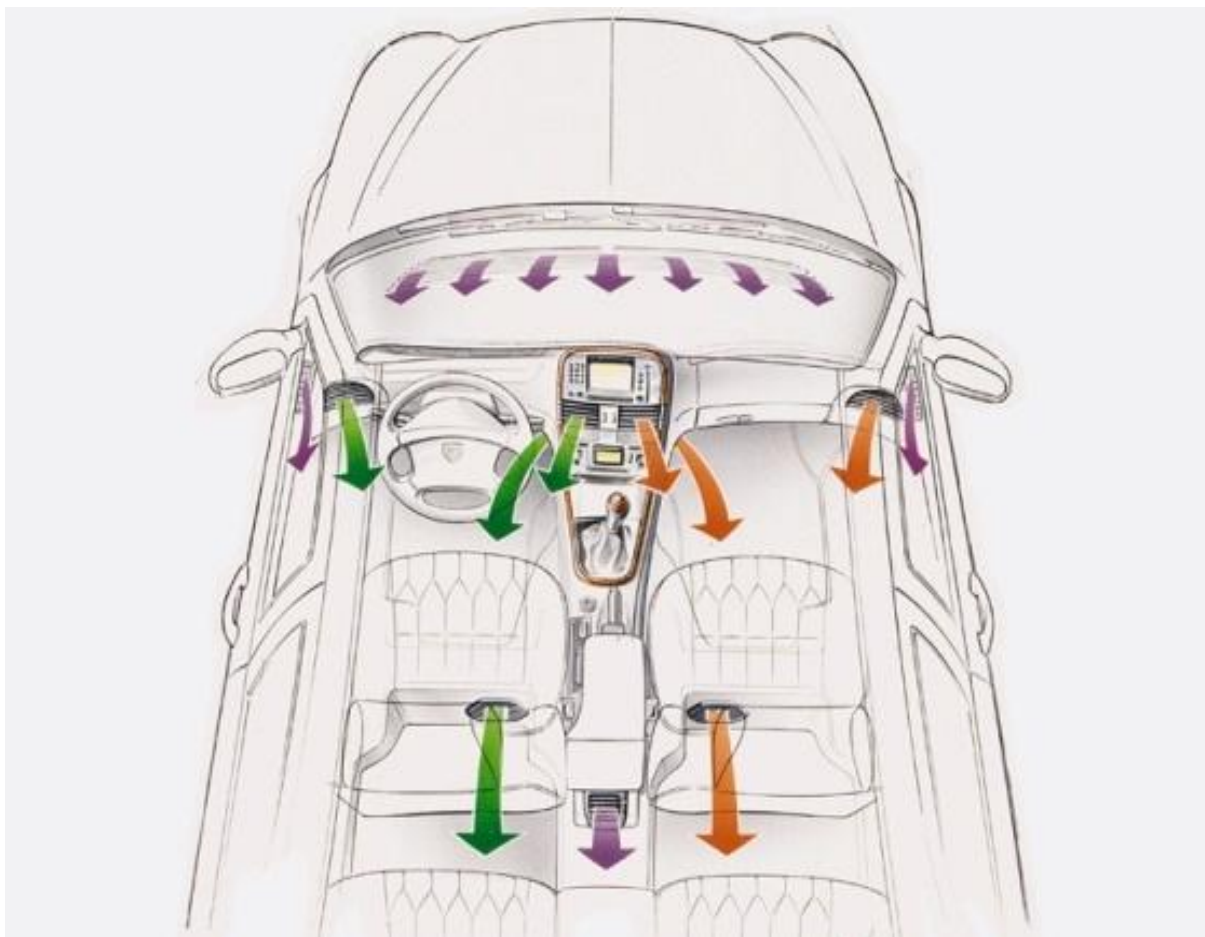
Funkce jednotlivých výstek vyobrazených na Obr. 5 jsou následující (číslo odpovídá číslu výstky na obrázku): 1 - přívod vzduchu k čelnímu sklu, 2 - zajištění stále cirkulace vzduchu, 3 - přívod vzduchu na boční skla nebo do prostoru spolujezdce/řidiče, 4 - přívod vzduchu do prostoru spolujezdce/řidiče, 5 - přívod vzduchu do prostoru nohou spolujezdce a řidiče.

Regulace teploty vzduchu je pak řízena pomocí regulace otevření klapky směšování vzduchu. Tato regulace může být buď ruční nebo automatické. U ručního řízení se nastaví požadovaná teplota přiváděného vzduchu, čímž se nastaví směšovací klapka, která řídí poměr ochlazeného a neochlazeného vzduchu v přiváděném vzduchu a uživatel poté sám musí klimatizaci vypnout při dosažení optimální teploty v prostoru kabiny. U automatického řízení se nastaví přímo požadovaná teplota v prostoru a řídicí jednotka sama upravuje nastavení směšovací klapky tak aby bylo dosaženo požadované teploty. Pokud je auto vybaveno dvou zónovou klimatizací, je také možné regulovat teplotu pro levou a pravou část vozu zvlášť, případně pro přední a zadní část. Toho je docíleno osazením dvou výparníků, kdy se poté reguluje směšovací klapka u každého okruhu zvlášť a tím i jejich výkon. Dvou zónovou klimatizací se také nazývá klimatizace rozdělená na tři části a to řidiče, spolujezdce a zadní sedadla. Jednodušším

U vzduchu se tak upravují dvě veličiny a to teplota a vlhkost. Teplota se reguluje, jak už bylo zmíněno, poměrem směšování vzduchu. Vlhkost vzduchu je pak samovolně

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

upravována kondenzací na výparníku, protože teplota výparníku může klesnout pod rosný bod vzduchu. Kondenzace vlhkosti na výparníku má i čistící účinek neboť se v kondenzátu zachytávají i prachové částice které se dostaly přes filtr a vzduch je tak ještě více vyčištěn. Je ale potřeba zajistit odvod kondenzátu, ten bývá nejčastěji odváděn pod vozidlo, pokud je však tento odtok ucpan může dojít k vniknutí vlhkosti do vozidla. Pro případy, kdy je nežádoucí nasávat vzduch z venku, například kvůli zápachu, je možné přepnout na cirkulaci, kdy je odebírán vzduch z kabiny vozu a venkovní vzduch není přiváděn.



Obr. 6 - Rozdělení prostoru kabiny na dvě zóny (3)

2.2.2. Okruh chladiva

Okruh chladiva se skládá z následujících základních komponent:

- výparníku
- kompresoru
- kondenzátoru
- expanzního ventilu

V celém chladivovém okruhu je samozřejmě zahrnuto daleko větší množství prvků, avšak pro základní funkci systému za ideálního stavu jsou potřeba pouze tyto komponenty. Další komponenty které systém obsahuje nám většinou zajišťují zvýšení jeho účinnosti případně zvyšují spolehlivost celého systému. V ideálním stavu se totiž počítá s tím, že dojde k vypaření veškerého vstříkovaného chladiva a dále že nedojde k uvolňování nežádoucích příměsí jako je například olej z kompresoru. V reálném zařízení jsou proto zařazeny také prvky jako odlučovač kapaliny, jenž slouží k zachytávání případného kapalného chladiva a dalších nečistot na straně sání kompresoru a dále dehydrátoru jenž slouží k zachytávání nečistot v kapalném chladivu za kondenzátorem a další.

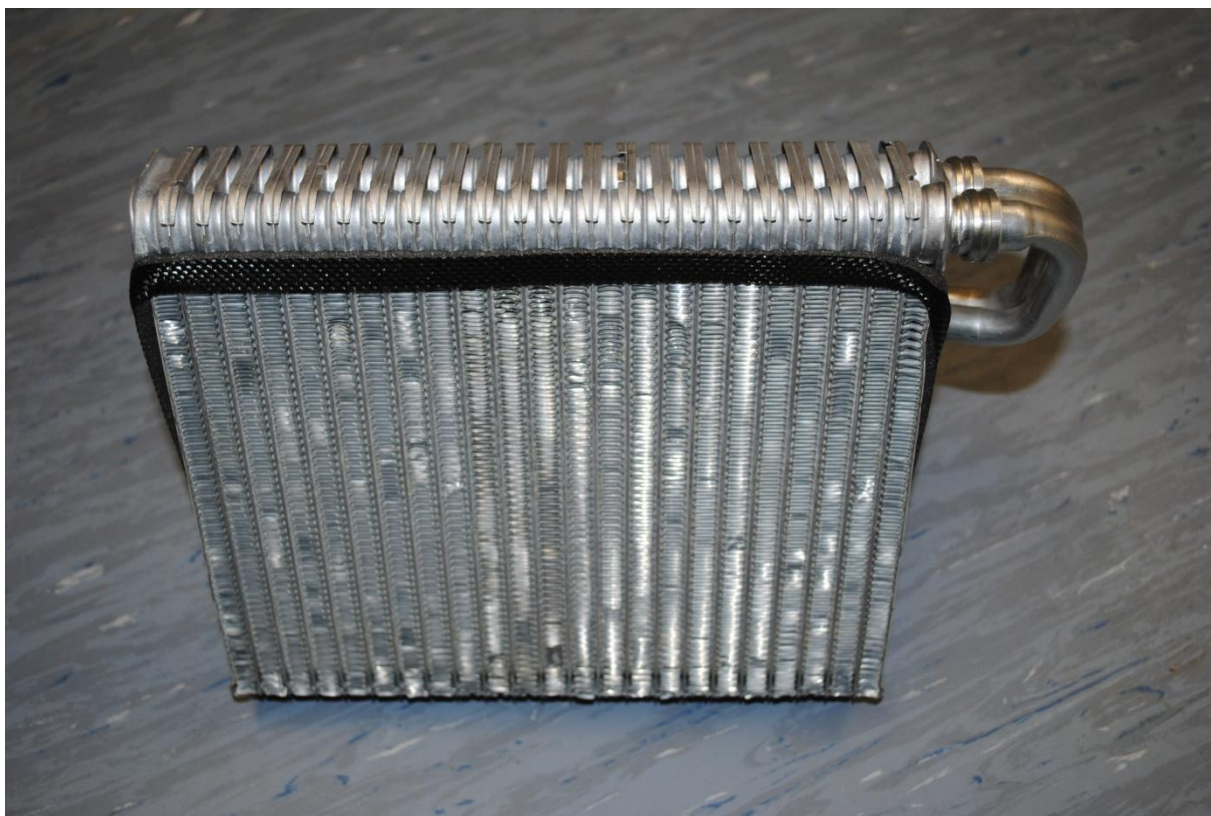
Výparník

Výparníkem se v klimatizační technice nazývá výměník tepla, ve kterém dochází k předání tepla ze vzduchu do chladiva, přičemž dojde ke změně skupenství chladiva z kapalného na plynné. Jedná se tedy o výměník se změnou skupenství jedné z látek. V případě automobilových klimatizací se jedná o kompaktní lamelový výměník, který se však může vyskytovat v několika provedeních. Hlavním požadavkem na výparník je jeho kompaktnost, jak už bylo zmíněno v předchozích částech, je u automobilových klimatizací požadavek na malé rozměry. Tomu musí vyhovovat i výparník, je však zapotřebí aby měl i při malých rozměrech relativně velký výkon. Z toho důvodu jsou používány právě lamelové výměníky, které i při malých rozměrech dosahují dostatečných výkonů.

Lamelové výměníky jsou velice podobné klasickým trubkovým výměníkům a to z toho důvodu, že jedno médium vždy proudí v potrubí. V případě automobilových klimatizací se jedná o chladivo, přičemž okolí potrubí není ohraničeno žádným dalším pláštěm, jako tomu je například u plášťových trubkových výměníků. Také se většinou nejedná o jednu trubku, ale o soustavu většího množství menších trubiček. Vzduch tedy proudí přímo okolo trubek s chladivem. Pro dosažení vyššího výkonu jsou trubky opatřeny lamelami. Lamely jsou tenké plechy, většinou vyrobené z hliníku, které jsou nasazeny na trubkách. Tím dochází ke zvětšení plochy potrubí a tím pádem k lepšímu předávání tepla. Montáž lamel na potrubí se nejčastěji provádí nalisováním kdy se lamely nasadí na potrubí které má menší průřez než je otvor v lamele, po naskládání všech vrstev lamel se pak trubka natlakuje na vysoký tlak čímž dojde k jejímu roztažení a pevnému spojení s lamelami. U lamelových výměníků je důležité zajistí volný průchod vzduchu mezi lamelami, je tedy potřeba kontrolovat zda nedochází k zanášení prostoru mezi lamelami nečistotami, případně zda nedošlo k deformaci lamel. Vzhledem k tomu, že lamely jsou velice tenké je potřeba je chránit před mechanickým poškozením, jinak může dojít ke snížení průtoku vzduchu a tím pádem snížení účinnosti výparníku. Jak bylo zmíněno v úvodu odstavce lamelový výměník je tvořen soustavou více trubek, proto je nutné mít na vstupní i výstupní straně potrubí, které nám zajistí rozvod chladiva do jednotlivých trubek a následně spojení do jednoho proudu. Tyto trubky se nazývají rozdělovač a sběrač a jsou na krajích výměníku.

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Krom provedení s klasickými trubkami existují i další varianty lamelových výparníků. Jednou z dalších variant je výparník s paralelním tokem chladiva. Oproti klasickému provedení je zde trubka rozdělena na více částí kterými vede chladivo separátně, díky tomu je dosaženo rychlejšího přenosu tepla potřebného pro odpaření a tento druh výměníku tak dosahuje vysoké účinnosti. V této variantě mají trubky většinou zploštělý tvar a jejich větší plocha je orientována horizontálně. Konstrukce tohoto typu výměníku je shodná s klasickým lamelovým výparníkem, tzn. je zde obsažen jak rozdělovač tak sběrač. Další variantou je serpentinový výparník. Ten využívá opět zploštělé trubky obsahující několik menších kanálků. Rozdílným znakem zde je to, že tento druh výměníku neobsahuje sběrač ani rozdělovač. To je způsobeno tím, že trubka pro chladivo tvoří vlnovku, kde delší strana je v horizontálním směru. Chladivo se do něj přivádí z horní části a postupně proudí směrem dolů, přičemž vznikající kondenzát také stéká směrem dolů. Žebra jsou pak nalisována mezi jednotlivé smyčky výměníku a mají také tvar vlnovky. (3)



Obr. 7 - Příklad lamelového výměníku s zploštělými trubkami a rozdělovačem a sběračem na jedné straně (foto archiv autora)

Všechny druhy výměníků používaných jako výparníky je pak potřeba chránit proti zamrznutí. K tomu, jak už bylo zmíněno, může dojít například vlivem poklesu tlaku. U chladiva je tlak a teplota svázána dohromady a tedy při poklesu tlaku se nám snižuje i teplota chladiva. Z toho důvodu je okruh vybaven různými typy ochranných prvků.

Prvním typem ochranného prvku je EPR (evaporator pressure regulation) ventil. Jedná se o ventil, který je umístěn za výparníkem. Při průchodu plynného chladiva přes tento ventil působí tlak chladiva na kuželku, proti tomuto tlaku chladiva působí na kuželku pružina, pokud dojde k poklesu tlaku na hranici, kdy by se teplota výparníku dostala na 0 °C, dojde k přetlačení kuželky pružinou a uzavření ventilu. Pokud je ventil uzavřen plynné chladivo

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

nemůže odcházet z výparníku, další chladivo je však stále přiváděno a tím dojde k zvýšení tlaku, tím dojde k tomu že pružina je přetlačena a ventil se otevře. Tímto způsobem se výparník chrání před tvorbou námrazy. (3)

Dalším typem je elektronické řízení pomocí protizámrazového spínače. Ten obsahuje jak spínací relé kompresoru, tak čidlo teploty. To snímá teplotu na povrchu výparníku pomocí NTC teplotního senzoru. Pokud teplota na výparníku poklesne například na 1 °C dojde k rozpojení relé spojky kompresoru. Tím se zastaví oběh chladiva a další chladivo není do výparníku přiváděno, to způsobí ohřev par chladiva ve výparníku a tím i celého výparníku. Pokud teplota stoupne nad 2,5 °C je spojka kompresoru opět zapojena a chlazení dále pokračuje. (3)

Dále je možné použití pouze odporového teplotního snímače, nejčastěji typu NTC. U toho dochází vlivem teploty ke změnám odporu. Tuto změnu pak registruje řídicí jednotka, které proveden odpojení spojky kompresoru a tím jeho zastavení. Rozdíl oproti protizámrazovému spínači je tedy ten, že je zde potřeba řídicí jednotky. (3)

Poslední ochrannou je cyklovací spínač kompresoru. Ten snímá tlak na výstupu z výparníku, pokud je tlak dostatečný je spínač rozepnut. Pokud dojde k poklesu tlaku spínač sepne a tím dojde k vyřazení spojky kompresoru a jeho zastavení. Při opětovném nárůstu tlaku, vyvolaném nárůstem teploty, v důsledku nulového průtoku chladiva dojde opět k rozepnutí spínače a sepnutí spojky kompresoru. Tento spínač může zajistit i nízkotlakou ochranu kompresoru pro případ přerušení chladivového okruhu a úniku chladiva. (3)

Kompresor

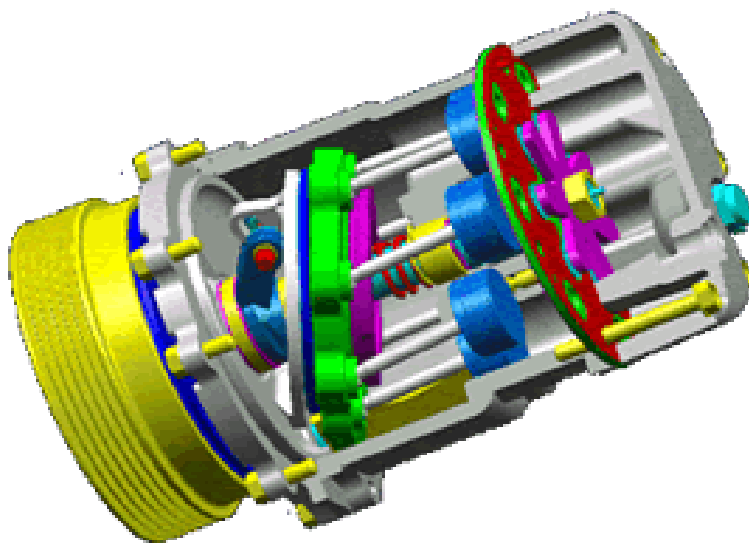
V automobilových klimatizacích se můžeme nejčastěji setkat se třemi typy kompresorů. Jedná se o kompresory spirálové, pístové a rotační. O pohon kompresoru se stará motor vozidla, který je s kompresorem spojen přes řemenový převod a elektromagnetickou spojku. Pokud je klimatizace aplikována u automobilů s hybridním pohonem, nebo s čistě elektrickým pohonem, může být použit i kompresor s vlastním elektrickým pohonem.

Jak už bylo zmíněno, o převod mechanické energie z motoru ke kompresoru se stará řemenový převod s elektromagnetickou spojku. Tato část je principiálně shodná pro všechny používané druhy kompresorů. Elektromagnetická spojka nám zajišťuje zapojování a vypojoování náhonu kompresoru dle potřeby. Pokud by byl kompresor trvale zapojen, byla by nepříznivě ovlivňována spotřeba vozidla i jeho hlučnost a také by bylo nutné odvádět chlad vytvořený výparníkem. Proto je potřeba kompresor odpojit, pokud není potřeba. Elektromagnetická spojka sestává ze dvou částí hlavních částí, mezi kterými je vložena řemenice. První je připojena na řemenici poháněnou motorem, druhá pak na výstupní hřídel kompresoru. Pokud dojde k zapnutí klimatizace je do cívky ve spojce přivedeno napětí, díky kterému se zde začne indukovat magnetické pole. Tím dojde k přitažení části spojky, která se nachází na hřídeli kompresoru a její spojení s částí na řemenici. Díky tomu se kompresor spustí. Pokud je klimatizace vypnuta, napětí do cívky přestane jít a elektromagnet přestane být magnetický, tím dojde k uvolnění části na hřídeli kompresoru a k rozpojení pohonu.

V dnešní době je nejvíce rozšířeným typem kompresoru pístový kompresor. Princip jeho funkce spočívá v pohybu pístu uvnitř válce. Při pohybu pístu dolů je nasáváno chladivo z výparníku a při jeho pohybu nahoru je pak stlačováno a vyfukováno do kondenzátoru. Orientace pohybu pístu vůči uložení hnací hřídele může být buď radiální (klasické provedení), nebo axiální (s kyvnou deskou). U klasických pístových kompresorů je píst připojen na klikovou hřídel, tím dochází k jeho pohybu nahoru a dolů. Tento typ kompresorů už se v automobilovém průmyslu v podstatě nepoužívá. U axiálních kompresorů je oboustranný píst připojen na kyvnou desku, ta převádí rotační pohyb hřídele na lineární pohyb pístu. Díky konstrukci, která využívá oboustranného pístu, je na jedné jeho straně chladivo nasáváno a na

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

druhé zároveň stlačováno, dochází tak ke zvýšení účinnosti. O nasávání a vytlačování plynu z kompresoru se stará sací a výtlačný ventil. Ty mohou být tvořeny například membránou, která se jednou stranou opírá o tělo kompresoru. Dojde tak k tomu, že u sání kdy je pohyb pístu dolů, dojde ke vzniku podtlaku a membrána sacího ventilu je prohnuta směrem dolů a pustí tak plyn dovnitř, membrána výtlačného ventilu je však tímto podtlakem přitlačena k tělu kompresoru a žádný plyn dovnitř nepouští. Při pohybu pístu nahoru, je pak naopak přitlačena k tělu kompresoru membrána sacího ventilu a membrána výtlačného ventilu je prohnuta nahoru a umožňuje vytlačení stlačeného plynu. Stejný princip funkce těchto ventilů je i u axiálního pístového kompresoru. Oba zmíněné typy kompresorů mohou mít více válců v kterých dochází ke stlačování. U pístových kompresorů s klikovou hřídelí to nejčastěji bývají dva válce orientované do tvaru V, u axiálních pístových kompresorů může být až sedm válců umístěných rovnoběžně s hnací hřídelí po jejích obvodu. Díky převodu rotačního pohybu na posuvný zde pak dochází k tomu, že v každém válci probíhají jiné části cyklu. U pístových kompresorů s klikovou hřídelí, také není možné měnit jejich výkon změnou délky chodu pístu. U axiálních kompresorů lze tento objem změnit náklonem kyvné desky, tím se změní dráha pístů a tedy i výkon kompresoru. Změna náklonu desky je zajištěna řídicím ventilem, který je nastavený od výrobce a porovnává tlaky na výstupu, sání a v kompresoru a upravuje sklon desky tak, aby byl na sání udržen konstantní tlak. Někdy je také provedeno řízení kyvné desky elektronickou řídicí jednotkou, která mění výkon kompresoru v závislosti na požadavku na klima v automobilu, u této varianty pak nemusí být na kompresoru obsažena elektromagnetická spojka a kompresor jede na minimální výkon stále i když není potřeba chladit.



Obr. 8 - Axiální pístový kompresor s kyvnou deskou (4)

Další variantou jsou kompresory rotační. V nich dochází ke stlačování chladiva valivým pohybem pístu uvnitř válce. Píst se pohybuje excentricky a tím dochází ke stlačování nasávaného chladiva. Dále může být píst opatřen výsuvnými lamelami které rozdělují prostor válce na tři část. V první dochází k sání, ve druhé ke stlačování a ve třetí k výtlačku stlačených par. Díky tomu není potřeba osazovat tyto typy kompresorů sacími ani výtlačnými ventily.

Poslední variantou jsou kompresory spirálové (scroll). Jejich konstrukce sestává ze dvou spirál, jedné pevné a jedné pohyblivé. Pohyblivá spirála pak vykonává rotační pohyb okolo pevné spirály. Tím dochází k nasávání a stlačování chladiva, které je pak uprostřed spirály vytlačeno ven z kompresoru. Opět je zde jako u rotačního kompresoru rozdělení objemu na několik částí a nejsou tedy potřeba sací ani výtlačné ventily, na výtlačku je tak

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

osazen pouze ventil zabráňující zpětnému toku chladiva do kompresoru. Výhodou těchto kompresorů je velmi dobrá účinnost a také minimum pohyblivých částí což je výhodné zejména z hlediska životnosti. Tento typ kompresorů také poskytuje nepřetržitou dodávku chladiva, protože v jeden moment dochází ke všem třem fázím cyklu naráz.



Obr. 9 - Zobrazení jednotlivých fází cyklu ve spirálovém kompresoru (5)

Kondenzátor

Jedná se o stejný typ výměníku jako je výparník. Velikosti jsou však rozdílné protože pro kondenzaci je potřeba jiná plocha výměníku než pro odpařování. Kondenzátory bývají tenčí ale s větším průřezem než výparníky. Umístění je v přední části motorového prostoru vozu za čelní maskou společně s chladičem chladicí kapaliny motoru.

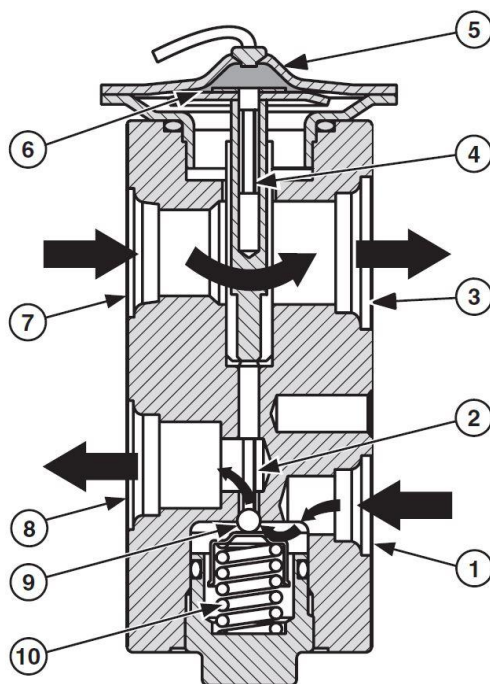
Na kondenzátoru také může být často sběrač propojený přímo s vysoušečem chladiva. Ten zajišťuje zachycení případných nečistot, které by mohly vniknout do dalších komponent a vést k jejich poškození. Dále také odlučuje případnou vlhkost a funguje jako zásobník chladiva pokud je vyžadováno menší množství než kolik je celková náplň.



Obr. 10 - Umístění kondenzátoru za čelní maskou vozu Škoda Octavia II, na pravé straně se nachází vysoušeč chladiva (foto archiv autora)

Expanzní ventil

Nejčastěji nalezneme v automobilové klimatizaci termostatický expanzní ventil. Ten je řízen samočinně dle teploty a tlaku par chladiva na výstupu z výparníku. Ovládání je pomocí uzavřeného okruhu s malým množstvím chladiva. Na výstupním potrubí z výparníku je pak umístěna baňka v které se nachází chladivo v kapalném stavu, zahříváním pak dochází k nárůstu tlaku. Tento nárůst tlaku je kapilárou přenášen k tělesu ventilu, kde působí přes membránu na kuželku ventilu. Pod membránou je přiváděn tlak plynného chladiva, to zajišťuje aby došlo k zavření ventilu, pokud by tlak stoupl na vysokou hodnotu. Tento typ ventilu se nazývá termostatický expanzní ventil s externím porovnáváním, neboť tlak a teplota pro porovnání jsou přiváděny do tělesa ventilu odjinud. Dále je možná využít termostatického expanzního ventilu s vnitřním porovnáváním tlaku a teploty. U tohoto ventilu prochází tělesem ventilu jak kapalně chladivo, tak plynný stav. Plynný stav prochází volně a není nijak regulován při svém průchodu však obtéká teplotně citlivý element, který poté působí na membránu. Membrána pak působí na kuličku, která přidává nebo omezuje průtok kapalného chladiva přes trysku. Zároveň je také část plynného chladiva přes vrtání v těle ventilu odváděna pod membránu, kde působí proti silám závislým na teplotě. Pokud by tedy narostl tlak, dojde k uzavření ventilu na straně kapalného chladiva. Proti působení membrány působí ve spodní části pružina přehřátí. Konstrukce expanzního ventilu s vnitřním porovnáváním je zobrazena na obr. 11. (6)



Obr. 11 - Termostatický expanzní ventil s vnitřním porovnáváním (6)

1 - vstup kapalného chladiva, 2 - prostor ventilu, 3 - výstup plynného chladiva, 4 - teplocitlivé tělísko, 5 - hlava membránového tělesa (naplněná kapalinou), 6 - membrána, 7 - vstup plynného chladiva, 8 - výstup kapalného chladiva, 9 - kulička ventilu, 10 - pružina přehřátí

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Alternativou k termostatickému expanznímu ventilu je expanzní ventil v pevnou tryskou. Jedná se v podstatě o potrubím, v kterém je vsazena tryska. Regulace je pak řízena pomocí cyklování kompresoru, protože jiná regulace není možná. Velikost trysky je dimenzována na maximální chladicí výkon a může proto nastat problém s nedostatečným odpařováním chladiva a tím pádem zaplavování výparníku při požadavku na nižší výkon. Kvůli zmíněné nevýhodě je možné použít expanzního ventilu s automatickou regulací velikostí trysky. Tento typ se skládá ze dvou částí, první je umístěna před výparníkem a má fixní velikost trysky, druhá je umístěna za výparníkem a má proměnnou velikost trysky. Změny velikosti je dosaženo pomocí bimetalové pružiny, která se stlačuje nebo natahuje podle teploty proudícího plynného chladiva, tím pohybuje tělesem trysky, které má různé průměry, v kombinaci s pevnou částí tak dochází ke změně průřezu a tím je dosaženo požadované regulace. Průměry tělesa trysky jsou voleny tak aby odpovídaly různým rychlostem vozidla, např. jízdě ve městě nebo jízdě na dálnici.^[3]



Obr. 12 - Termostatický expanzní ventil s vnitřním porovnáváním (foto archiv autora)

3. Výpočet tepelné zátěže prostoru kabiny vozidla

Tato kapitola se zabývá určením tepelné zátěže prostoru kabiny vozidla za předpokládaných extrémních podmínek. Tepelné zisky jsou určeny jak z vnitřních, tak z vnějších zdrojů a při jejich výpočtu bylo postupováno dle ČSN 73 0548 (7), výpočty součinitelů prostupu tepla, byly provedeny dle ČSN 73 0540 (8). Výpočet byl proveden pro den s nejvyššími teplenými zisky z oslunění a to 21. Červenec. Hodnoty dosazované do vzorových výpočtů byly odečteny z tabulek v normě pro 10 hod středoevropského času (dále jen SEČ). Celý výpočet pak byl proveden pro rozmezí mezi osmou hodinnou ranní a osmou hodinnou odpoledne. Uvažovaná orientace vozidla byla směrem na jih ve směru jízdy a vzorový výpočet byl proveden pro boční stranu vozidla orientovanou na východ.

3.1. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů

V kabině vozu je hlavním zdrojem tepla sedící člověk, proto bylo uvažováno pouze s produkcí tepla od osob. Další zdroje tepla ve vnitřním prostředí nebyly uvažovány.

Největší tepelné zatížení od lidí v kabině vozu bylo uvažováno pokud se zde budou nacházet čtyři muži, a to z důvodu největších tepelných zisků právě od mužů. V autě je předpokládána pouze velmi slabá zátěž a teplo produkované člověkem je proto 68 W při předpokladu teploty 25 °C ve vnitřním prostoru kabiny vozu. Výpočty byly provedeny dle rovnice 1. a 2..

$$i_l = 0,85i_{žen} + 0,75i_{dětí} + i_{mužů} \quad \text{Rovnice 1}$$

$$i_l = 0,85 \cdot 0 + 0,75 \cdot 0 + 4 = \underline{\underline{4}}$$

Kde:

i_l - celkový počet osob [-]

$i_{žen}$ - celkový počet žen [-]

$i_{dětí}$ - celkový počet dětí [-]

$i_{mužů}$ - celkový počet mužů [-]

$$\dot{Q}_l = 0,1Q_c(36 - t_i)i_l \quad \text{Rovnice 2}$$

$$\dot{Q}_l = 0,1 \cdot 68 \cdot (36 - 25) \cdot 4 = \underline{\underline{374,0 \text{ W}}}$$

Kde:

Q_c - produkce tepla od osoby [W]

\dot{Q}_l - celková produkce tepla od všech osob [W]

Celková tepelná produkce tepla od osob v kabině vozu je tedy za uvažovaných podmínek 374,0 W.

3.2. Tepelné zisky od vnějších zdrojů

Tepelné zisky od vnějších zdrojů jsou zisky od zdrojů, které se nenachází v uvažovaném prostoru. Pro automobil tyto zisky převažují nad tepelnými zisky z vnitřních zdrojů. Zisky od vnějších zdrojů můžeme dělit na dva druhy, zisky prostupem a zisky radiací. Tato kapitola se zabývá výpočty obou druhů tepelných zisků od vnějších zdrojů.

3.2.1. Tepelné zisky prostupem okny

Tepelné zisky prostupem okny závisí na teplotě venkovního vzduchu a na součiniteli prostupu tepla. Pro danou hodinu vzorového výpočtu je venkovní teplota rovna 23 °C. Součinitel prostupu tepla okny auta je pak 5,8 W/m²K. Výpočet byl proveden dle rovnice 3.

$$\dot{Q}_{p,ok} = U_{ok}S_{ok}(t_e - t_i) \quad \text{Rovnice 3}$$

$$\dot{Q}_{p,ok} = 5,8 \cdot 0,54 \cdot (24,8 - 25) = \underline{\underline{-0,63 \text{ W}}}$$

Kde:

$\dot{Q}_{p,ok}$ - tepelný zisk prostupem okny [W]

U_{ok} - součinitel prostupu tepla okny [W/m²K]

S_{ok} - plocha oken [m²]

t_e - teplota venkovního vzduchu [°C]

t_i - teplota vzduchu v prostoru kabiny vozidla [°C]

3.2.2. Tepelné zisky radiací okny

Tepelné zisky radiací se dále dělí na dvě větve a to zisky od přímého oslunění a zisky od difuzního oslunění. Výpočet obou těchto složek je proveden v dalších částech této kapitoly.

3.2.2.1. Sluneční deklinace

Sluneční deklinace udává úhlovou vzdálenost slunce od rovníku v daném dni a měsíci. Pro vzorový výpočet bylo, jak už bylo zmíněno na začátku kapitoly, datum 21. Července. Výpočet byl proveden dle rovnice 4.

$$\delta = 23,5 \sin[(M - 1)30 + D - 81] \quad \text{Rovnice 4}$$

$$\delta = 23,5 \cdot \sin[(7 - 1) \cdot 30 + 21 - 81] = \underline{\underline{20,35^\circ}}$$

Kde:

δ - sluneční deklinace [°]

M - číslo měsíce [-]

D - číslo dne v měsíci [-]

3.2.2.2. Výška slunce nad obzorem

Výška slunce nad obzorem udává pro danou hodinu a den skutečnou úhlovou vzdálenost slunce nad obzorem. To nám následně určuje pod jakým úhlem budou dopadat sluneční paprsky na plochu automobilu. Výpočet byl proveden dle rovnice 5.

$$\sin h = \sin \delta \sin \psi - \cos \delta \cos \psi \cos(15\tau) \quad \text{Rovnice 5}$$

$$\sin 20,35 \sin 50 - \cos 20,35 \cos 50 \cos(15 \cdot 9) = \underline{\underline{0,69}}$$

$$h = \sin^{-1} 0,69 = \underline{\underline{43,83^\circ}}$$

Kde:

h - výška slunce nad obzorem [$^\circ$]

δ - sluneční deklinace [$^\circ$]

ψ - zemská šířka místa pro který je prováděn výpočet [$^\circ$]

τ - hodina v SEČ pro kterou je prováděn výpočet [h]

3.2.2.3. Sluneční azimut

Určuje úhel který svírá přímka, tvořená dopadem slunečního záření na vodorovnou plochu, s přímkou směřující na sever. Výpočet byl proveden podle rovnice 6 a 7.

$$\sin a_c = \frac{\sin(15\tau) \cos \delta}{\cos h} \quad \text{Rovnice 6}$$

$$\sin a_c = \frac{\sin(15 \cdot 9) \cos 20,35}{\cos 43,83} = \underline{\underline{0,92}}$$

$$a = 180 - \sin^{-1} a_c \quad \text{Rovnice 7}$$

$$a = 180 - \sin^{-1} 0,92 = \underline{\underline{113,2^\circ}}$$

Kde:

a - sluneční azimut [$^\circ$]

a_c - sluneční azimut určovaný od jihu [$^\circ$]

h - výška slunce nad obzorem [$^\circ$]

δ - sluneční deklinace [$^\circ$]

τ - hodina v SEČ pro kterou je prováděn výpočet [h]

3.2.2.4. Osluněná plocha oken

Osluněná plocha oken určuje plochu na kterou nedopadá stín ze slunolamu nebo ostění. U automobilu však k tomuto nemůže docházet protože zapuštění oken oproti karoserii je minimální. Bylo tedy uvažováno s nulovým zastíněním oken. Platí tedy rovnice 8.

$$S_{os} = S_o \quad \text{Rovnice 8}$$

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Kde:

S_{os} - osluněná plocha oken [m²]

S_o - plocha oken [m²]

Jediným případem kdy nebude rovnice 8 platit je pokud se bude jednat o stranu vozidla na kterou nedopadá sluneční záření.

3.2.2.5. Intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům

Jedná se o intenzitu slunečního záření dopadajícího na plochu, která je kolmá na sluneční paprsky. Její velikost ovlivňuje čistota ovzduší, přičemž čím čistší ovzduší, tím je vyšší hodnota intenzity dopadajících slunečních paprsků. Velikost znečištění je udávána součinitelem znečištění atmosféry, pro který platí že čím vyšší je jeho hodnota tím je ovzduší znečištěnější. Dalším faktorem který ovlivňuje hodnotu intenzity přímé sluneční radiace je nadmořská výška. Zde platí, že hodnota intenzity narůstá se zvyšující se nadmořskou výškou. Vzhledem k tomu že zkušební zařízení má sloužit pro měření extrémních podmínek byla zvolena kombinace nadmořské výšky 1000 m n.m. a součinitele znečištění atmosféry 2. Výpočet byl proveden dle rovnice 9.

$$I_{Dk} = I_0 e^{-\frac{z}{10} \left(\frac{16000 - \text{nadmořská výška}}{16000 + \text{nadmořská výška}} \frac{1}{\sin h} \right)^{0,8}} \quad \text{Rovnice 9}$$

$$I_{Dk} = 1350 \cdot e^{-\frac{2}{10} \left(\frac{16000 - 1000}{16000 + 1000} \frac{1}{\sin 43,83} \right)^{0,8}} = \underline{\underline{1059 \text{ W/m}^2}}$$

Kde:

I_{Dk} - intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům [W/m²]

I_0 - intenzita sluneční radiace na hranicích atmosféry, konstantní $I_0 = 1350 \text{ W/m}^2$

z - součinitel znečištění atmosféry [-]

h - výška slunce nad obzorem [°]

3.2.2.6. Intenzita difuzní sluneční radiace

Difuzní sluneční radiace působí i na povrchy, které nejsou přímo osluněny. Je proto důležitá hlavně pro povrchy, které jsou ve stínu. Hodnotu intenzity difuzní sluneční radiace ovlivňuje sklon povrchu vůči vodorovné rovině ve směru oslunění. Pro boční stěny vozidla bylo uvažováno se sklonem 90 °, v reálu jsou stěny ve spodní části kolmé na vodorovnou rovinu a v horní části jsou lehce skloněné, rozdíl je však zanedbatelný a lze proto celou boční stranu uvažovat se sklonem 90 °. Čelní a zadní sklo pak mají sklon 30 ° a 22 °. Zakřivení čelního a zadního skla bylo zanedbáno. Výpočet byl proveden dle rovnice 10.

$$I_d = \left(I_0 - I_{Dk} - (1080 - 1,4 I_{Dk}) \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right) \frac{\sin h}{3} \quad \text{Rovnice 10}$$

$$I_d = \left(1350 - 1059 - (1080 - 1,4 \cdot 1059) \sin^2 \left(\frac{90}{2} \right) \right) \frac{\sin 43,83}{3} = \underline{\underline{113,64 \text{ W/m}^2}}$$

Kde:

I_d - intenzita difuzní sluneční radiace [W/m^2]

I_0 - intenzita sluneční radiace na hranici atmosféry [W/m^2]

I_{Dk} - intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům [W/m^2]

α - úhel mezi plochou a vodorovnou rovinou [$^\circ$]

h - výška slunce nad obzorem [$^\circ$]

3.2.2.7. Intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu

Jedná se o přepočet hodnoty intenzity přímé sluneční radiace na kolmou plochu na libovolně orientovanou plochu. Je potřeba znát úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem dopadajících paprsků. Tento úhel se vypočítal z rovnice 11. Poté se provedl výpočet hodnoty intenzity podle rovnice 12. Pro boční strany vozidla je úhel plochy kolmý na vodorovnou rovinu a sklon předního a zadního okna je stejný jako v předchozí kapitole. Pokud by byl úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem dopadajících paprsků větší než 90° považuje se tento povrch za neosluněný.

$$\cos \theta = \sin h \cos \alpha + \cos h \sin \alpha \cos(\alpha - \gamma) \quad \text{Rovnice 11}$$

$$\cos \theta = \sin 43,83 \cos 90 + \cos 43,83 \sin 90 \cos(113,2 - 90) = \underline{\underline{0,663}}$$

$$\theta = \cos^{-1} 0,663 = \underline{\underline{48,47^\circ}}$$

Kde:

θ - úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem dopadajících paprsků [$^\circ$]

h - výška slunce nad obzorem [$^\circ$]

α - úhel mezi plochou a vodorovnou rovinou [$^\circ$]

γ - azimut plochy [$^\circ$]

a - sluneční azimut [$^\circ$]

$$I_D = I_{Dk} \cdot \cos \theta \quad \text{Rovnice 12}$$

$$I_D = 1059 \cdot \cos 48,47 = \underline{\underline{702,13 \text{ W/m}^2}}$$

Kde:

I_D - intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu [W/m^2]

I_{Dk} - intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům [W/m^2]

θ - úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem dopadajících paprsků [$^\circ$]

3.2.2.8. Propustnost standardního okna

Hodnota propustnosti určuje kolik jakou hodnotu intenzity přímé sluneční radiace propustí okno do kabiny vozidla. Výpočet byl proveden dle rovnice 13.

$$t_D = 0,87 - 1,47 \left(\frac{\theta}{100} \right)^5 \quad \text{Rovnice 13}$$

$$t_D = 0,87 - 1,47 \left(\frac{48,47}{100} \right)^5 = \underline{\underline{0,83}}$$

Kde:

t_D - propustnost standardního okna pro přímé sluneční záření [-]

θ - úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem dopadajících paprsků [°]

3.2.2.9. Intenzita difuzní radiace procházející standardním oknem

Jedná se o sníženou intenzitu difuzní radiace propustností okna. Pro standardní okno je hodnota propustnosti 0,85. Výpočet byl proveden dle rovnice 14.

$$I_{d,ok} = I_d \cdot t_d \quad \text{Rovnice 14}$$

$$I_{d,ok} = 73,4 \cdot 0,85 = \underline{\underline{62,39 \text{ W/m}^2}}$$

Kde:

$I_{d,ok}$ - intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m^2]

I_d - intenzita difuzní sluneční radiace [W/m^2]

t_d - propustnost standardního okna pro difuzní záření [-]

3.2.2.10. Intenzita přímé sluneční radiace procházející standardním oknem

Jedná se o sníženou intenzitu přímé sluneční radiace propustností okna. Tato hodnota je skutečná intenzita přímé sluneční radiace která nám projde do vnitřního prostoru vozidla přes přímo osluněná okna. Výpočet byl proveden dle rovnice 15.

$$I_{D,ok} = I_D \cdot t_D \quad \text{Rovnice 15}$$

$$I_{D,ok} = 702,13 \cdot 0,83 = \underline{\underline{582,77 \text{ W/m}^2}}$$

Kde:

$I_{D,ok}$ - intenzita přímé sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m^2]

I_D - intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu [W/m^2]

t_D - propustnost standardního okna pro přímé sluneční záření [-]

3.2.2.11. Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem

Jedná se o součet hodnoty intenzity difuzní radiace a hodnoty intenzity přímé sluneční radiace procházejících přes standardní okno. Výpočet byl proveden dle rovnice 16.

$$I_{ok} = I_{d,ok} + I_{D,ok} \quad \text{Rovnice 16}$$

$$I_{ok} = 62,39 + 582,77 = \underline{\underline{645,16 \text{ W/m}^2}}$$

Kde:

I_{ok} - celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m^2]

$I_{d,ok}$ - intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m^2]

$I_{D,ok}$ - intenzita přímé sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m^2]

3.2.2.12. Tepelný zisk sluneční radiací okny

Jedná se o tepelný zisk okny na jedné straně vozidla, dle úvodu kapitoly 3. Korekční součinitel byl zvolen 0,85 dle normy a jedná se o korekční součinitel pro velkoměsto. Stínící součinitel byl dle normy zvolen 1 což odpovídá jednoduchému sklu. Ve většině vozidel však už najdeme skla upravená proti propouštění slunečního záření. Volba jednoduchého skla pro výpočet je výhodná zejména protože dojde k naddimenzování použitého zdroje ve zkušebním zařízení a bude tak vždy zajištěna dostatečná tepelná zátěž prostoru.

Plochy oken byly určeny z rozměrového nákresu v příloze 1.

$$\dot{Q}_{r,ok} = (S_{os} I_{ok} c_0) \cdot s \quad \text{Rovnice 17}$$

$$\dot{Q}_{r,ok} = (0,54 \cdot 645,16 \cdot 0,85) 1,0 = \underline{\underline{293,38 \text{ W}}}$$

Kde:

$\dot{Q}_{r,ok}$ - tepelný zisk sluneční radiací okny [W]

S_{ok} - plocha oken [m^2]

I_{ok} - celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m^2]

c_0 - korekční součinitel [-]

s - stínící součinitel [-]

3.2.3. Tepelné zisky prostupem karoserií

Stejně jako u oken i karoserií dochází k vnikání tepla dovnitř prostoru kabiny vozu a to na základě rozdílu teplot venkovního prostředí a vnitřního prostředí.

Pro výpočet tepelných zisků prostupem karoserií bylo nutno spočítat součinitel prostupu tepla pro karoserii. Vzhledem k tomu že se složení karoserie vozidla v jednotlivých místech mění byly spočteny hodnoty součinitele pro všechny varianty složení.

Parametry jednotlivých prvků z nichž sestávaly jednotlivé konstrukce jsou uvedeny v Tabulka 1.

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Ocel	50
Vzduch	0,026
Minerální plst'	0,05

Tabulka 1 - Tepelné vlastnosti použitých materiálů

Z těchto hodnot byly pomocí rovnice 18 vypočteny součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} [W/(m^2 \cdot K)] \quad \text{Rovnice 18}$$

$$U = \frac{1}{0,125 + \frac{0,005}{50} + \frac{0,15}{0,026} + \frac{0,005}{50} + 0,04} [W/(m^2 \cdot K)]$$

Kde:

R_{si} – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m²·K)/W]

R_{se} – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [(m²·K)/W]

d_i – tloušťka daného materiálu v konstrukci [m]

λ_i – součinitel tepelné vodivosti daného materiálu [W/(m·K)]

Odpory při přestupu tepla na vnitřní straně byly určeny z tabulky 2 pro daný typ konstrukce, tato tabulka vychází z normy ČSN 73 0540 (8). Pro vnější stranu bylo zohledněno zvýšení součinitele přestupu tepla z tabulky 2 způsobeného pohybem vozidla a tedy i snížení odporu při přestupu tepla.

Povrch, poloha a druh stavební konstrukce			Odpor při přestupu tepla R_{si}, R_{se} (m ² ·K)/W
Vnitřní	svislá konstrukce		0,125
	vodorovná konstrukce při tepelném toku	zdola nahoru	0,125
		shora dolů	0,167
Vnější	zimní období		0,043
	letní období		0,067

Tabulka 2 - Hodnoty odporu při přestupu tepla (8)

Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce a složení těchto konstrukcí jsou uvedeny v tabulkách 3 až 9.

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Levý bok					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Vzduch		0,15	0,026	5,77	
Plech		0,005	50	0,00	
$\Sigma R=$				5,77	m^2K/W
$U=$				0,17	W/m^2K

Tabulka 3 - Složení levého boku a jeho součinitel prostupu tepla

Pravý bok					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Vzduch		0,15	0,026	5,77	
Plech		0,005	50	0,00	
$\Sigma R=$				5,77	m^2K/W
$U=$				0,17	W/m^2K

Tabulka 4 - Složení pravého boku a jeho součinitel prostupu tepla

Rám čelního skla					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Vzduch		0,05	0,026	1,92	
Plech		0,005	50	0,00	
$\Sigma R=$				1,92	m^2K/W
$U=$				0,48	W/m^2K

Tabulka 5 - Složení oblasti čelního skla a její součinitel prostupu tepla

Rám zadního skla					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Vzduch		0,05	0,026	1,92	
Plech		0,005	50	0,00	
$\Sigma R=$				1,92	m^2K/W
$U=$				0,48	W/m^2K

Tabulka 6 - Složení oblasti zadního skla a její součinitel prostupu tepla

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Střecha					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Minerální plst'		0,005	0,05	0,10	
Plech		0,002	50	0,00	
$\Sigma R=$				0,10	m^2K/W
$U=$				3,77	W/m^2K

Tabulka 7 - Složení střechy a její součinitel prostupu tepla

Podlaha					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Minerální plst'		0,005	0,05	0,10	
Plech		0,005	50	0,00	
$\Sigma R=$				0,10	m^2K/W
$U=$				3,77	W/m^2K

Tabulka 8 - Složení podlahy a její součinitel prostupu tepla

Motorová přepážka					
$R_{si}=$	0,125	m^2K/W	$R_{se}=$	0,04	m^2K/W
Materiál		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
Plech		0,005	50	0,00	
Minerální plst'		0,01	0,05	0,20	
Plech		0,005	50	0,00	
$\Sigma R=$				0,20	m^2K/W
$U=$				2,74	W/m^2K

Tabulka 9 - Složení motorové přepážky a její součinitel prostupu tepla

3.2.4. Výsledné tepelné zisky

Výsledkem provedených výpočtů tepelných zisků od vnějších zdrojů jsou tabulky obsažené v příloze 2. Tyto tabulky obsahují všechny kroky výpočtu. Výsledné hodnoty tepelných zisků od vnitřních zdrojů i vnějších zdrojů jsou pak v tabulce 10 a 11.

Tepelné zisky od lidí					
$i_{\text{žen}} [-]$	$i_{\text{dětí}} [-]$	$i_{\text{mužů}} [-]$	$i_l [-]$	$Q_c [\text{W}]$	$Q_l [\text{W}]$
0	0	4	4	68	299,2

Tabulka 10 - Hodnoty tepelného zisku od vnitřních zdrojů

Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Levý bok	Pravý bok	Čelní sklo	Zadní sklo	Střecha	Podlaha	Motorová přepážka	Celé vozidlo
		[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
4	5	-30,8	-30,8	-61,4	-39,1	-59,1	-89,6	-23,6	-334,2
5	6	151,0	-18,7	44,3	-19,9	-54,4	-82,4	-21,8	-1,9
6	7	295,5	-4,4	150,7	22,8	-46,3	-70,2	-18,5	329,6
7	8	349,6	9,7	234,5	144,6	-36,9	-56,0	-14,8	630,8
8	9	350,1	24,0	446,5	228,9	-25,5	-38,7	-10,2	975,1
9	10	305,0	37,3	669,2	288,9	-13,4	-20,4	-5,4	1261,4
10	11	220,5	49,0	836,0	336,7	-1,3	-2,0	-0,5	1438,2
11	12	119,2	58,3	940,4	369,1	10,1	15,3	4,0	1516,4
12	13	64,3	64,3	981,2	383,7	19,5	29,5	7,8	1550,4
13	14	67,4	128,3	958,6	380,6	27,5	41,7	11,0	1615,2
14	15	66,5	238,0	870,9	358,9	32,2	48,9	12,9	1628,2
15	16	61,8	329,5	718,1	320,0	33,6	50,9	13,4	1527,3
16	17	54,1	380,2	506,5	267,1	32,2	48,9	12,9	1301,8
17	18	43,3	383,2	301,5	187,3	27,5	41,7	11,0	995,6
18	19	29,9	329,8	219,2	66,4	19,5	29,5	7,8	702,0
19	20	14,9	184,6	111,3	22,8	10,1	15,3	4,0	362,9
20	21	-0,7	-0,7	-1,3	-0,9	-1,3	-2,0	-0,5	-7,5

Tabulka 11 - Hodnoty tepelných zisků od vnějších zdrojů v průběhu dne

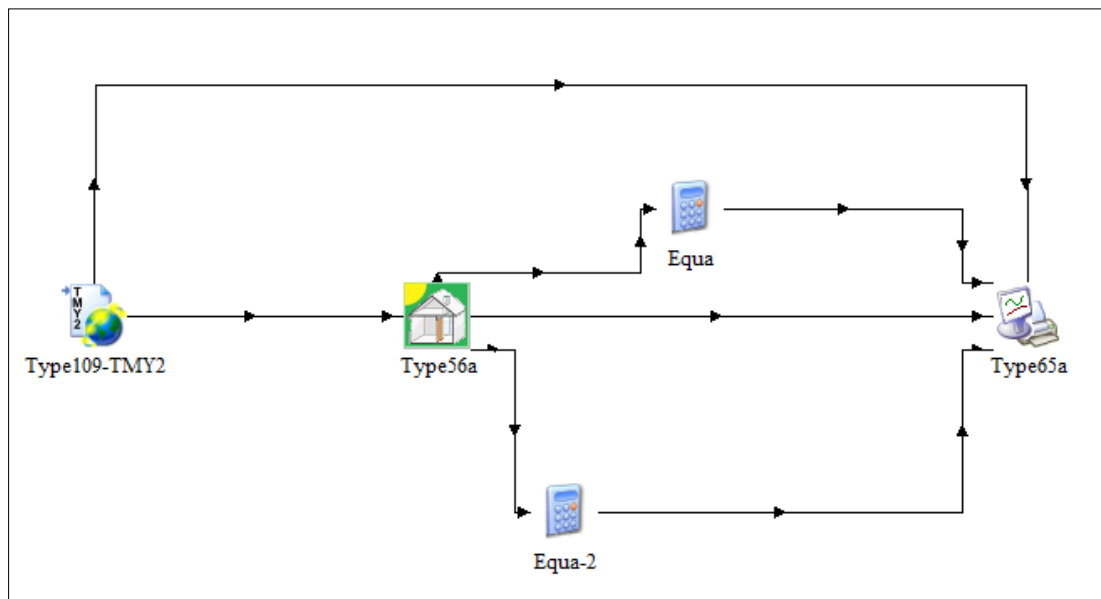
Z tabulky 11 je pak zřejmé že nejvyšší hodnota tepelného zisku dle výpočtu je v 14 hodin SEČ. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů považujeme po celý den za konstantní. Po sečtení maximálního zisku od vnějších zdrojů a od vnitřních zdrojů dostaneme výslednou hodnotu tepelné zátěže 1927,4 W.

3.2.5. Simulace tepelné zátěže v programu TRNSYS

Pro možnost posouzení vypočtené hodnoty tepelné zátěže vnitřního prostoru vozidla byla provedena simulace v programu TRNSYS 16_1 (licencován FSI VUT v Brně).

Složení konstrukcí a další parametry simulovaného prostoru byly shodné jako pro ruční výpočet. Data o počasí však byla použita z databáze programu. Jako lokalita bylo zvoleno Brno, data uložená v databázi byla pro rok 1995, novější data nebyla k dispozici. Výpočet pak byl proveden pro celý tento rok.

Schéma simulace z prostředí programu je zobrazeno na Obr. 13.



Obr. 13 - Schéma simulace z programu TRNSYS

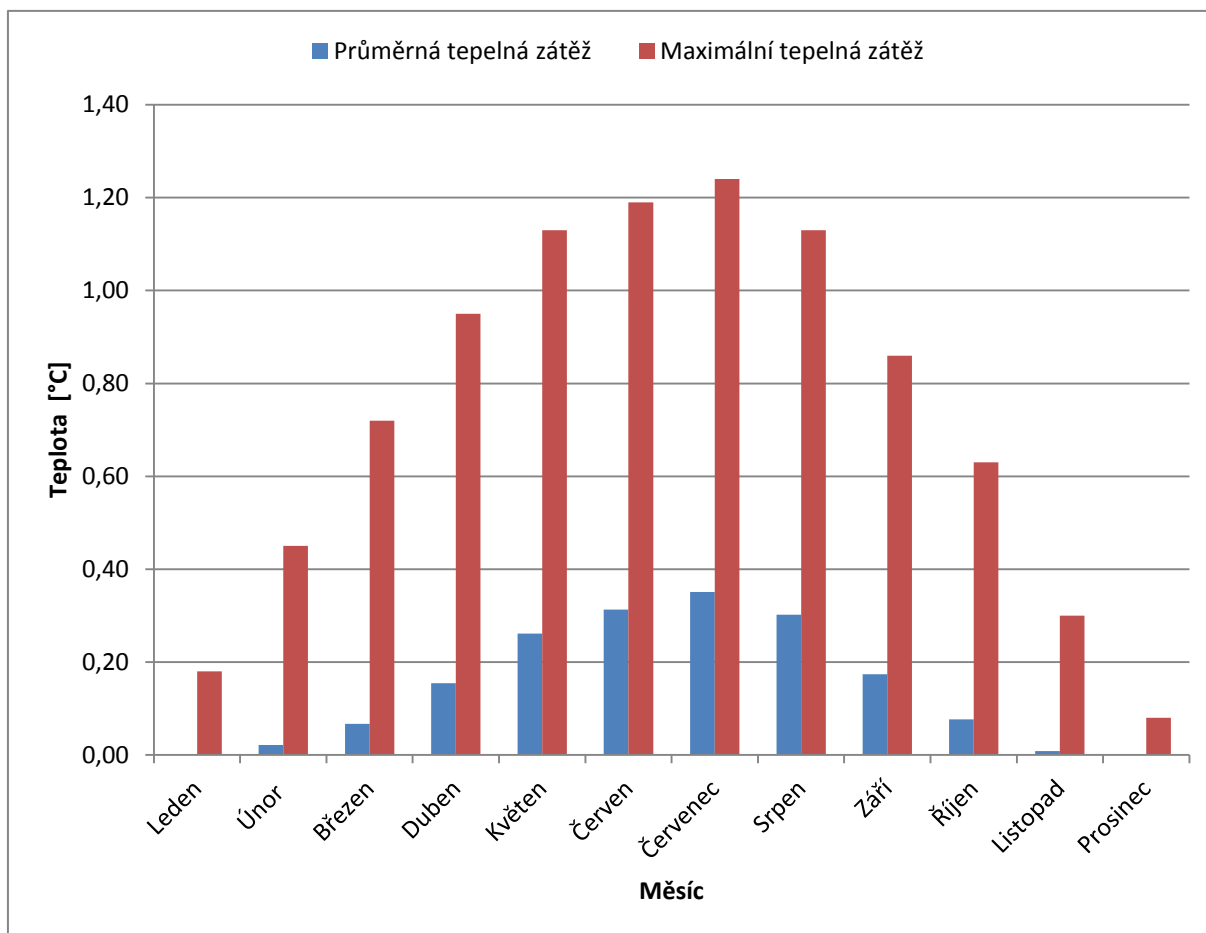
Pro simulovanou zónu byla v programu nastavena trvalá maximální teplota 25 °C kterou měl udržet zdroj chladu s neomezeným výkon. Potřebný chladicí výkon pro udržení této teploty pak odpovídá právě tepelné zátěži od vnějších a vnitřních zdrojů. Průměrné a maximální hodnoty tepelné zátěže vypočtené při simulaci jsou v tabulce 12.

Měsíc	Hodina		$Q_{\text{prům}}$ [kW]	Q_{max} [kW]
Leden	0	744	0,00	0,18
Únor	744	1416	0,02	0,45
Březen	1416	2160	0,07	0,72
Duben	2160	2880	0,15	0,95
Květen	2880	3624	0,26	1,13
Červen	3624	4344	0,31	1,19
Červenec	4344	5088	0,35	1,24
Srpen	5088	5832	0,30	1,13
Září	5832	6552	0,17	0,86
Říjen	6552	7296	0,08	0,63
Listopad	7296	8016	0,01	0,30
Prosinec	8016	8760	0,00	0,08

Tabulka 12 - Průměrné a maximální hodnoty tepelné zátěže v jednotlivých měsících roku

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Z tabulky 12 je tedy možno určit maximální tepelnou zátěž vozidla. Ta byla v červenci a její hodnota byla 1,24 kW. Tato hodnota se liší od hodnoty spočtené pomocí ručního výpočtu. Tento rozdíl je zřejmě dán rozdílnými výpočtovými metodami které se používají v programu TRNSYS a podle kterých byl prováděn ruční výpočet. Také díky tomu že byla pro simulaci použita reálná data z určitého roku je možné že pokud tento rok byl chladnější mohly být teploty přes den nižší. Také pokud byla v tomto roce vyšší oblačnost, mohlo to způsobit menší zisky sluneční radiací, které se na celkových tepelných ziscích podílejí největší měrou.



Obr. 14 - Maximální a průměrné tepelné zátěže v jednotlivých měsících

4. Psychrometrické výpočty

Jak bylo zmíněno v úvodu, pro zkoušení klimatizace je potřeba přivést vzduch o stavu s jakým se bude pracovat v reálném provozu. Z tohoto důvodu byly určeny požadavky na klimatizační zařízení, které upravuje vzduch přiváděný na výparník a kondenzátor. Konkrétní návrh klimatizačního zařízení by se poté řídil dispozicí laboratoře do které by bylo zkušební zařízení umístěno, případně s využitím stávajících zařízení.

Pro výpočet parametrů klimatizačního zařízení byly uvažovány tyto vstupní parametry a požadavky:

- teplota vzduchu na vstupu $t_{e,p} = 18\text{ °C}$
- relativní vlhkost vzduchu na vstupu $\varphi_e = 30\%$
- objemový průtok vzduchu $m_v = 4,17\text{ m}^3/\text{s}$
- teplota vzduchu na výstupu $t_p = 40\text{ °C}$
- vlhkost vzduchu na výstupu $\varphi_p = 90\%$
- tlak vzduchu 100000 Pa

Nasávání vzduchu pro úpravu se předpokládá přímo v místě umístění zkušebního zařízení a proto se uvažovala teplota 18 °C a vlhkost 30% . Průtok vzduchu byl spočten z průřezu kondenzátoru a požadované rychlosti proudění vzduchu, tato rychlost by měla být 50 km/h a simulovat tedy nápor vzduchu vznikající při jízdě automobilu. Výstupní parametry pak odpovídají extrémním podmínkám za kterých by mohlo dojít k provozování klimatizace v automobilu.

Vlastní návrh parametrů byl proveden v programu Vlhký vzduch 3.0, který vznikl jako diplomová práce na Odboru termomechaniky a techniky prostředí, EU, FSI VUT v Brně.

4.1. Vlhčení parou

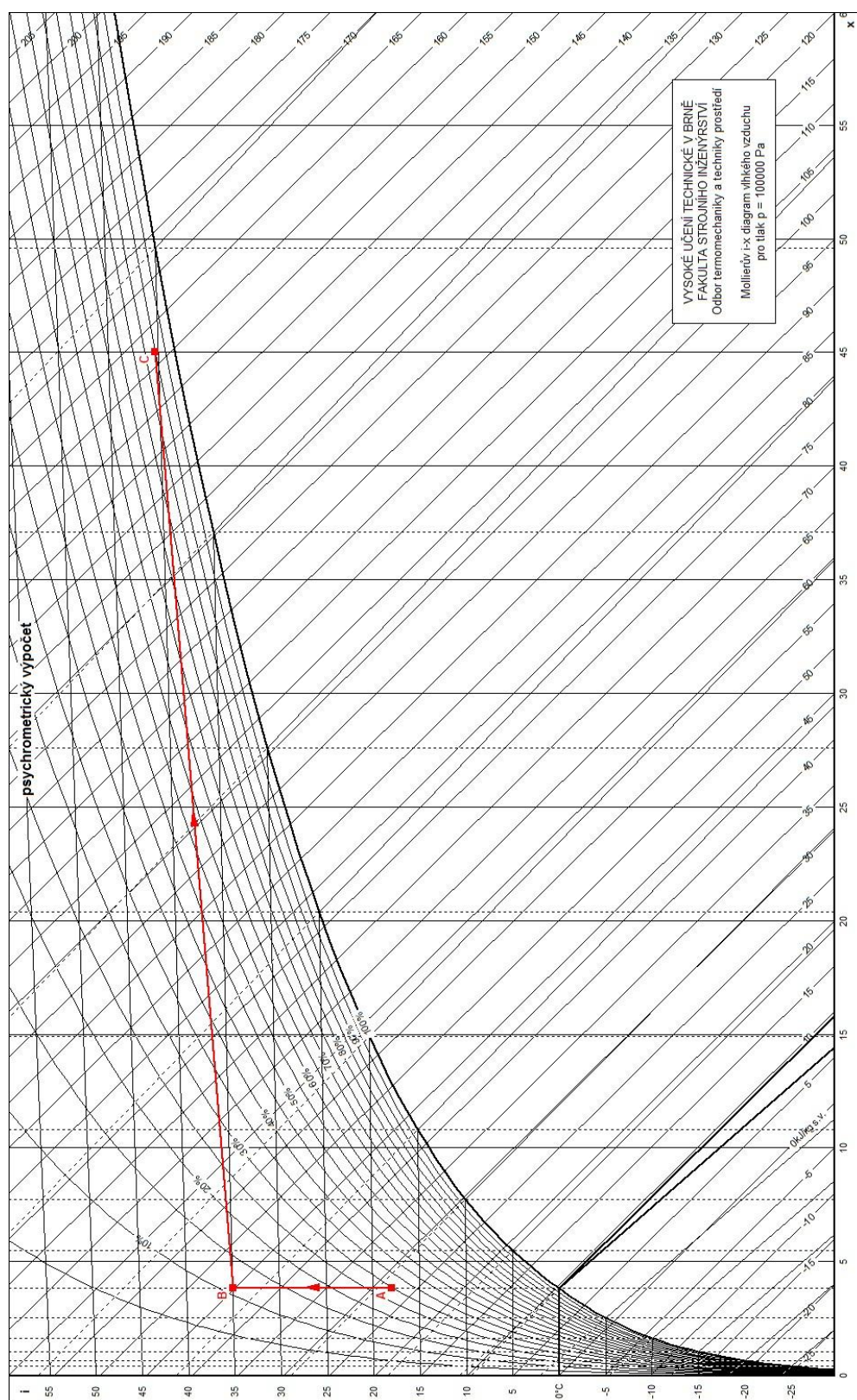
U zařízení se předpokládá pouze ohřev a dále vlhčení vzduchu pomocí syté páry. Parametry pro páru byly uvažovány následující.

- teplota $t_{p,p} = 120\text{ °C}$
- entalpie páry $i_p = 2705,93\text{ kJ/kg}$

Z výpočtu byly určeny tyto požadavky na zařízení pro úpravu vzduchu:

- výkon ohříváče $Q_o = 86\text{ kW}$
- množství syté páry o daném stavu $m_{wp} = 735\text{ kg/h}$

Prováděné úpravy vzduchu jsou zobrazeny na Obr. 15. Stav A značí přiváděný vzduch do jednotky, stav B vzduch za ohříváčem a stav C vzduch za parním zvlhčovačem a tedy i výstupní vzduch z jednotky.



Obr. 15 - h-x diagram úpravy vzduchu z programu Vlhký vzduch 3.0 při vlhčení parou

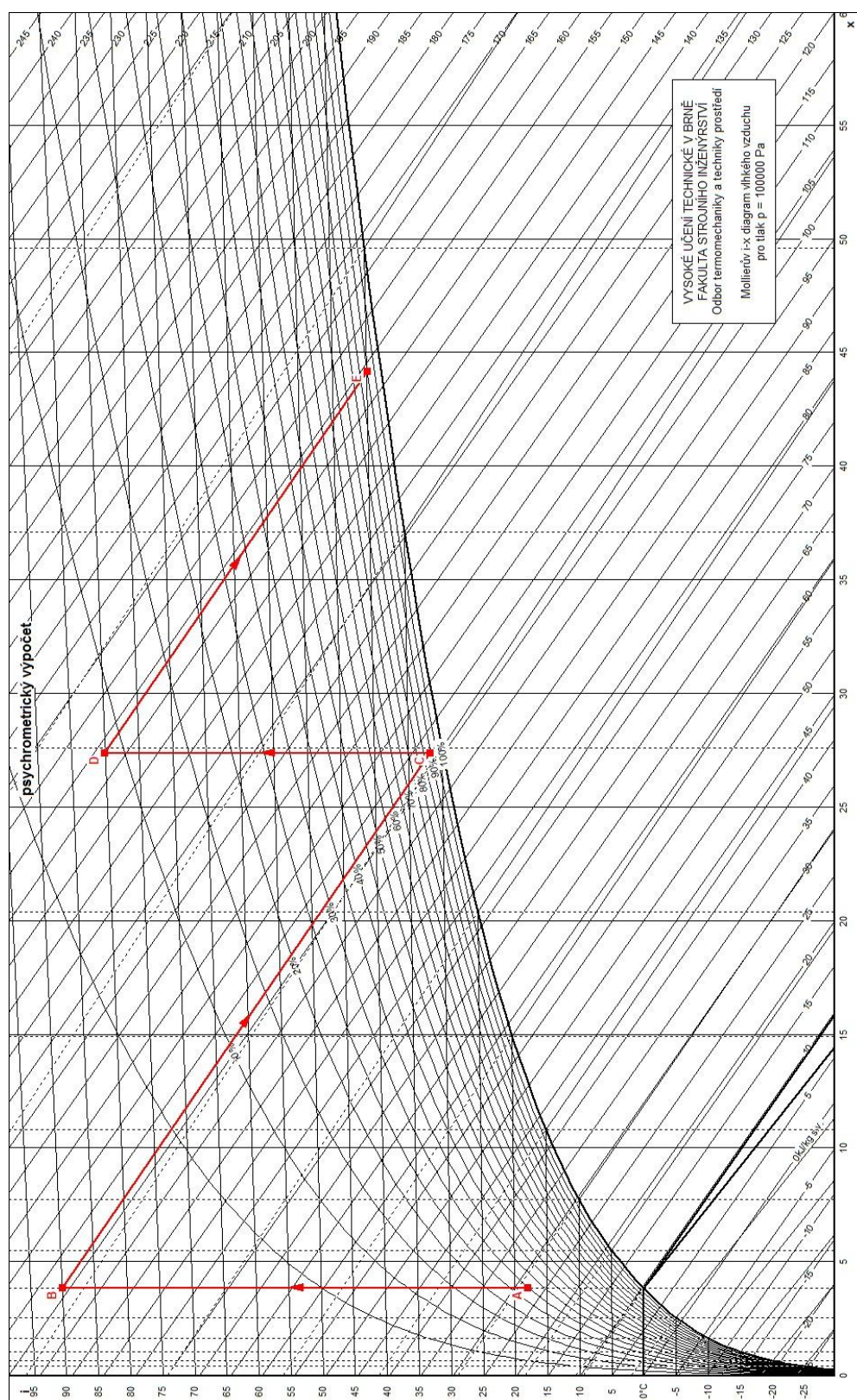
4.2. Vlhčení vodou

Pokud by v místě umístění nebylo možné zajistit dodávku páry je možné využít i vlhčení pomocí vody. Vstupní parametry vzduchu i požadavky na výstupní parametry vzduchu zůstávají stejné. Bylo uvažováno s odběrem vody pro vlhčení z vodovodního řadu a tedy s teplotou vody $t_w=10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Celé zařízení bylo navrženo jako dvoustupňové, kdy dojde nejdříve k ohřevu a zvlhčení a následně opět k ohřevu a vlhčení. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu lepšího přizpůsobení provozu při požadavku na vzduch o nižších parametrech.

Parametry požadovaného zařízení na úpravu vzduchu z výpočtu pak jsou:

- výkon ohříváče 1. stupně $Q_{o1}= 363\text{ kW}$
- množství vody pro vlhčení v 1. stupni $m_{wv1}= 420\text{ kg/h}$
- výkon ohříváče 2. stupně $Q_{o2}= 253\text{ kW}$
- množství vody pro vlhčení v 2. stupni $m_{wv2}= 299\text{ kg/h}$

Diagram znázorňující úpravu vzduchu při vlhčení vodou je na Obr. 16. Stav A značí vzduch přiváděný do jednotky, stav B vzduch za ohříváčem 1. stupně, stav C vzduch za vodní pračkou 1. stupně, stav D vzduch za ohříváčem 2. stupně a stav E vzduch za vodní pračkou 2. stupně a tedy výstupní vzduch z jednotky.



Obr. 16 - h-x diagram úpravy vzduchu z programu Vlhký vzduch 3.0 při vlhčení vodou

5. Pohon kompresoru

Vzhledem k umístění zkušebního zařízení ve vnitřních prostorách a také z provozních důvodů bylo navrženo využití elektromotoru pro pohon kompresoru místo využití automobilového motoru. Elektromotor neprodukuje žádné škodliviny a není proto potřeba zvýšeného větrání při jeho provozu na rozdíl o klasického benzínového nebo naftového motoru. Není také potřeba do něj doplňovat palivo, což je výhodné při dlouhodobějších testech.

Aby bylo možné využít originální řemenici, byl zvolen motor, který má rozsah otáček shodný s benzínovým motorem, případně nepatrně vyšší v závislosti na tom s jakým motorem je porovnáván. Tuto podmínku splnil motor asynchronní motor ASM 260 U od firmy SEM. Základní parametry zvoleného motoru jsou následující:

- Jmenovité napětí - $U_N = 318 \text{ V}$
- Jmenovitý výkon - $P_N = 24 \text{ kW}$
- Jmenovité otáčky - $n_N = 1500 \text{ min}^{-1}$
- Jmenovitý krouticí moment - $M_N = 153 \text{ Nm}$
- Jmenovitý proud - $I_N = 58 \text{ A}$
- Účinnost - 85%
- Maximální otáčky - $n_{\max} = 8000 \text{ min}^{-1}$
- Váha - $m = 158 \text{ kg}$

Kompletní specifikace včetně závislosti výkonu na otáčkách jsou v příloze 3. Při návrhu byl, kromě zmíněných otáček, brán v potaz i maximální požadovaný výkon kompresoru, který je nutné mu dodat pro správnou funkci. Pro uvažovaný kompresor Sanden SD7V16 jsou maximální otáčky 8000 min^{-1} a při těchto otáčkách je potřeba energie přibližně 10 kW. Závislost otáček požadovaného příkonu v závislosti na otáčkách je vidět v grafu na Obr. 18. Tento graf je pouze do otáček 3000 min^{-1} , přičemž spodní rostoucí křivka udává požadovaný příkon, horní rostoucí křivka dodávaný výkon kompresoru a klesající křivka udává hodnotu COP. U křivky výkonu byl tedy předpokládán lineární růst i nad otáčky 3000 min^{-1} a poté z grafu byl odečten požadovaný příkon pro otáčky 8000 min^{-1} . Navržený elektromotor je tedy přibližně dvakrát výkonnější než je zapotřebí. Toto naddimenzování má však základ v požadavku na univerzálnost, pokud by bylo zkušební zařízení osazeno jiným kompresorem, může být požadavek na příkon vyšší a slabší elektromotor by nemusel dostávat. Také z hlediska provozu je lepší pokud nejede elektromotor na svém maximu, ale na nižší výkon. Zvyšuje se tím jeho životnost a tím dochází ke snížení nákladů na případné opravy. Pro řízení tohoto motoru lze použít například frekvenční měnič Siemens Sinamics G120 (specifikace viz srovnávací tabulka v příloze 4).

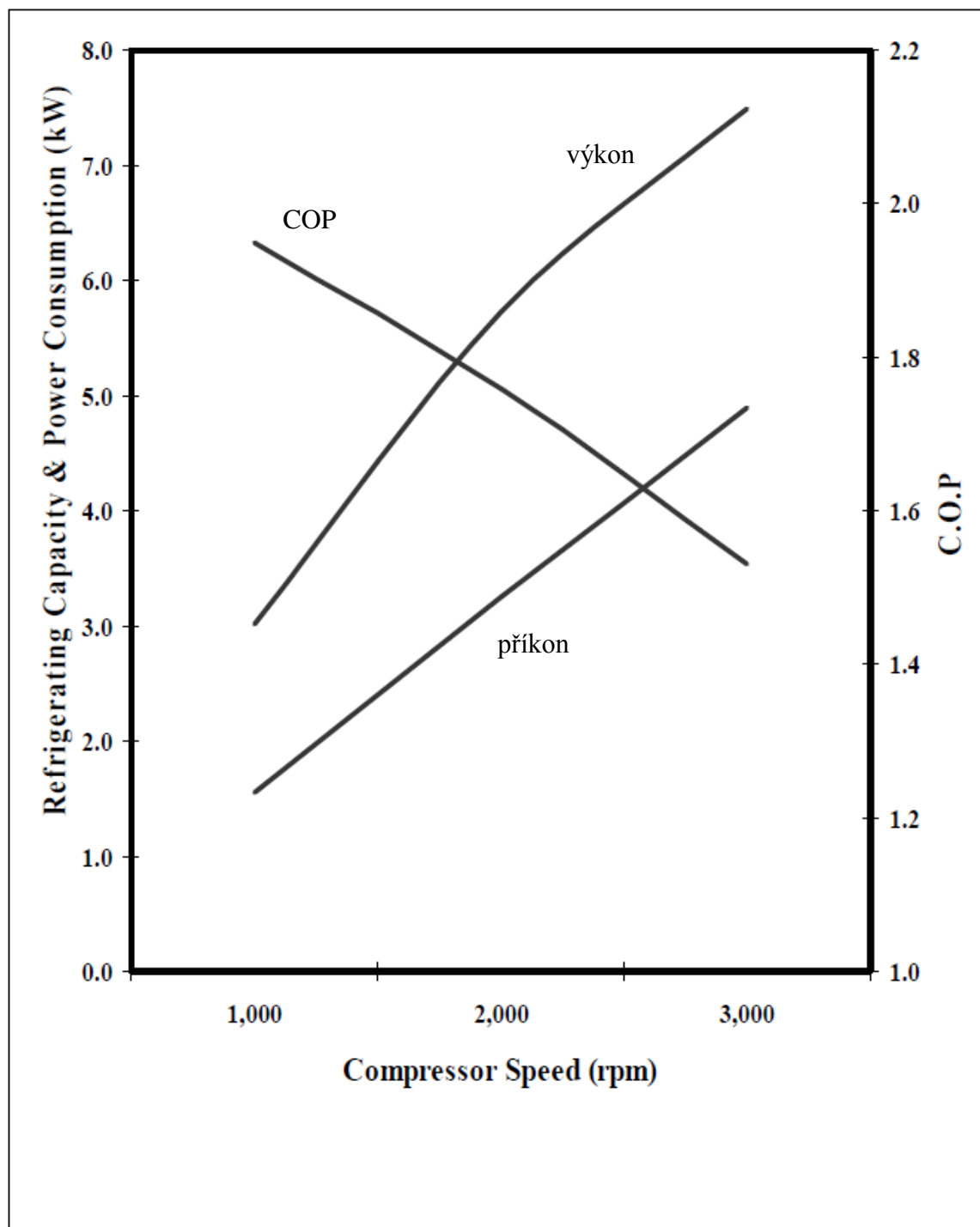


Obr. 17 - Elektromotor ASM 260U (9)

SD7V16 Performance

Pressure Dis / Suc : 1.67(MPa) / 196(kPa) [gage]

Sub Cool / Super Heat : 0 / 10(K)



Obr. 18 - Graf výkonu, příkonu a COP pro kompresor Sanden SD7V6 (10)

6. Konstrukční řešení zkušebního zařízení

Tato kapitola se zabývá samotným konstrukčním řešením zkušebního zařízení. Jsou zde popsány materiály využitě při konstrukci a také řešení jednotlivých částí zkušebního zařízení.

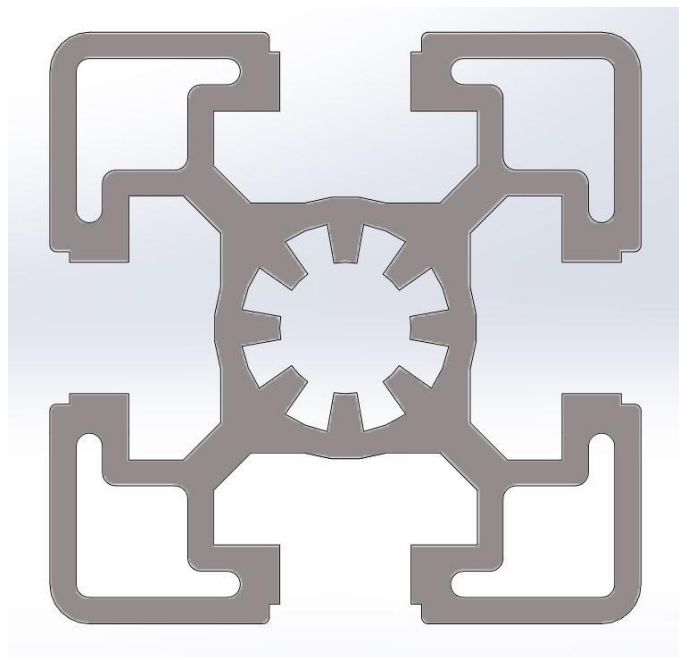
6.1. Použité konstrukční prvky

Pro konstrukci celého zařízení bylo využito hlavně dvou prvků. Prvním jsou univerzální profily a prvky od fy. Bosch a dále desky od fy. Elcom system. A dále několik prvků speciálně navržených pro tuto aplikaci.

6.1.1. Univerzální profily a prvky od fy. Bosch Rexroth

Jedná se o hliníkové profily vyráběné firmou Bosch a spadající do skupiny výrobků Rexroth. Tato skupina obsahuje mnoho různých prvků od konstrukčních profilů přes lineární pohony a hydraulické systémy až k řídicí elektronice.

Univerzální hliníkové profily od tohoto výrobce byly zvoleny především z velkého množství doplňků a spojovacích prvků, čímž byla zajištěna velká variabilita celé konstrukce. Tato variabilita je zajištěna pomocí tvaru těchto profilů. Ty umožňují použití mnoha typů spojovacích prvků mezi jednotlivými profily, tak i využití různých prvků pro uchycení jiných materiálů a prvků. Výhodou těchto profilů je také použitý materiál tím je hliník AW-6060 (další značení dle EN je AW- AlSiMg a materiálové číslo dle DIN je 3.3206), ten je velmi dobře odolný vůči korozi a má dobré povrchové vlastnosti. Velikosti profilů mohou být od nejmenších profilů se stranou 20 mm, až po největší se stranou 60 mm, tvary se mohou lišit a mohou být buď čtvercové nebo například i do tvaru L. Dále se dělí dle velikosti drážky. Ta může mít šířku 6 mm, 8 mm nebo 10 mm. Šířka drážky je odvislá od celkové velikosti. Pro profily 20 mm je drážka 6 mm, pro profily 30 mm je drážka 8 mm a pro velikosti nad 40 mm je drážka 10 mm. Jedna z variant profilu, která má drážky ze všech čtyř stran, je vyobrazena na Obr. 19.

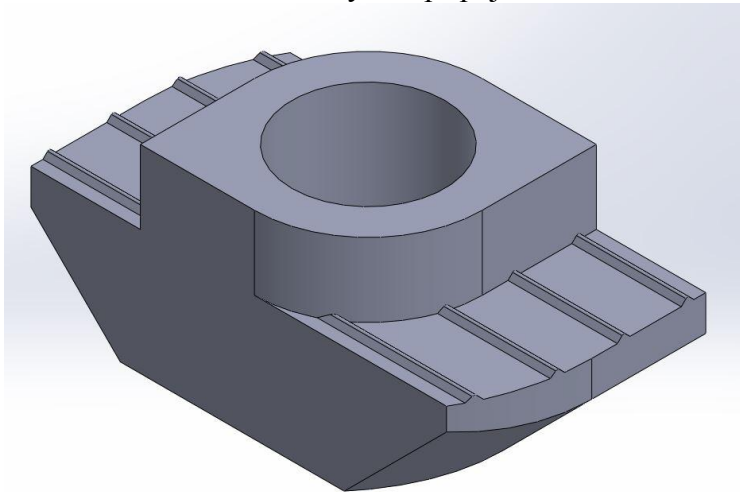


Obr. 19 – Řez jednou z variant profilu

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

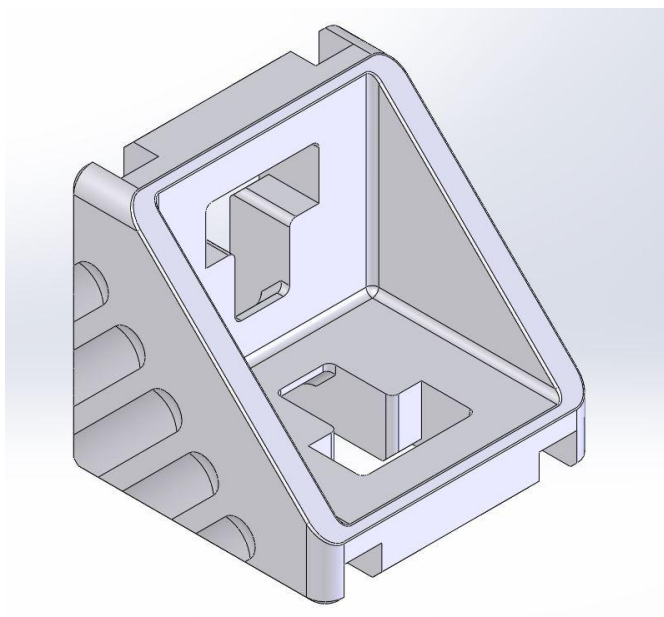
Středový otvor s výsečemi slouží pro spojování profilů dohromady, případně pro jejich vzájemné vycentrování. Po obvodu jsou pak vidět lichoběžníkové drážky. Ty slouží jak ke vzájemnému spojování dvou profilů, tak také po vložení speciálních matic pro uchycení jiných materiálů k profilu pomocí šroubů.

Konstrukce matice je na Obr. 20. Její funkce spočívá v tom že se zavede do drážky, kde se může volně pohybovat. Materiál matice může být dle požadavků buď nerezová ocel nebo galvanizovaná ocel. Matice má na styčné ploše s drážkou výstupky, pokud budeme do otvoru v matici zašroubovávat šroub dojde k přitlačení těchto výstupků k styčné ploše a zamezení pohybu matice v drážce a tím i uchycení připojovaného materiálu na profil.

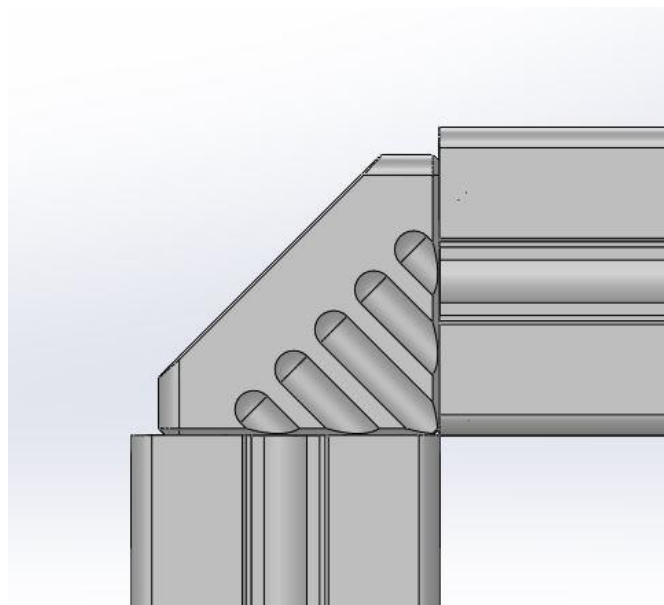


Obr. 20 - Matice pro vložení do drážky

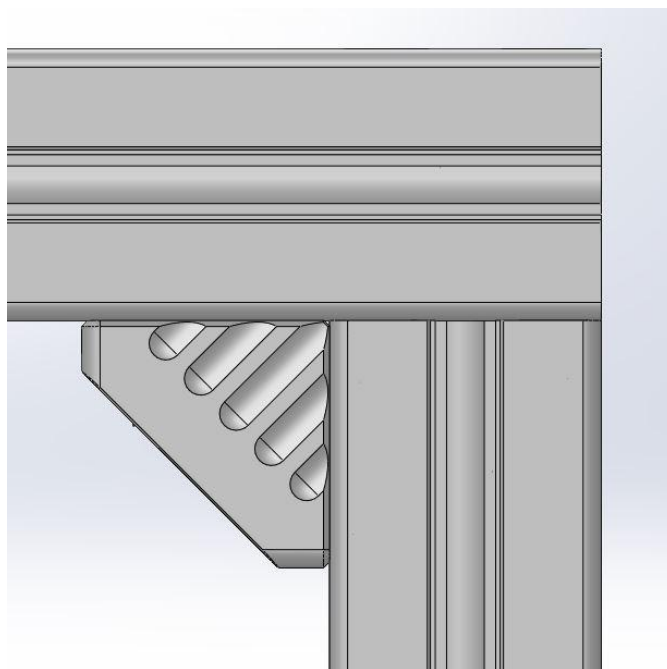
Pro spojování profilů pak slouží rohové spojky (viz Obr. 21). Ty umožňují jak spojení dvou profilů pomocí středových otvorů na koncích, tak i spojení dvou profilů pomocí drážek v libovolném místě. Otvory ve tvaru T slouží pro vložení T-šroubů, ty mají stejnou hlavu jako zmiňovaná matice, ale na rozdíl od ní nemají otvor, ale je z nich vyvedena tyč se závitem na kterou se poté šroubuje matice. Na Obr. 22 a Obr. 23 jsou vidět oba typy spojení pomocí rohového kusu



Obr. 21 - Rohový spojovací profil

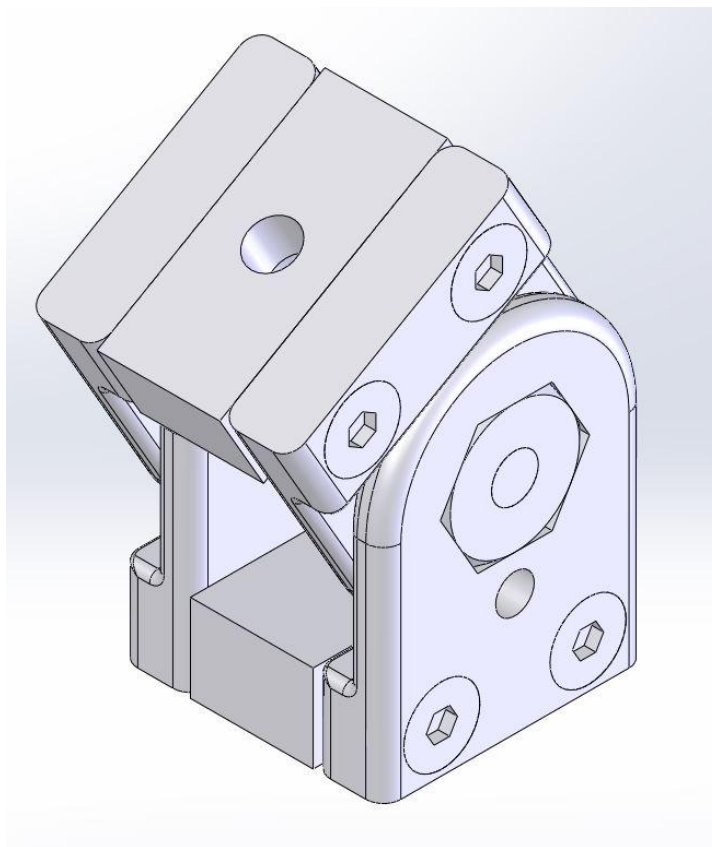


Obr. 22 - Příklad spojení profilů na koncích



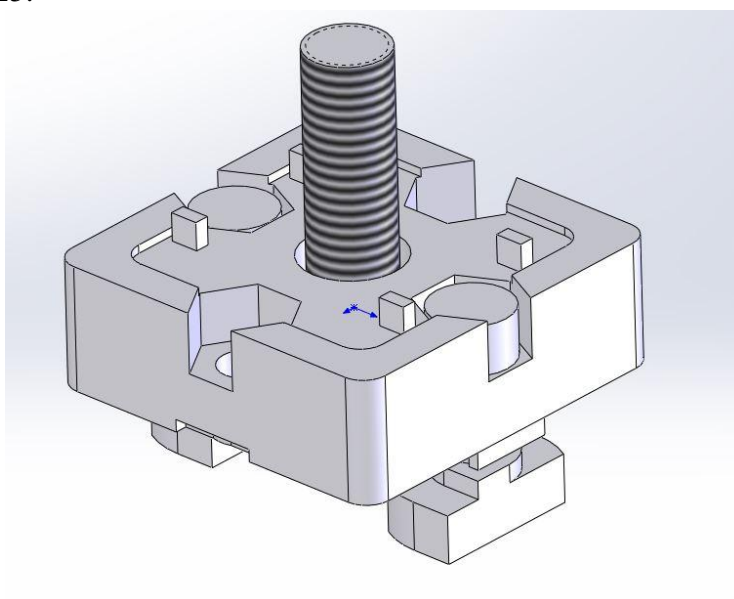
Obr. 23 - Příklad spojení profilů přes drážky

Pro spojení dvou profilů pod úhlem je možno využít kloubovou spojku. Ta má nastavitelný úhel, který se zafixuje zašroubováním šroubu do bočního otvoru, čímž dojde k spojení obou částí kloubu a tím jejich znehybnění. Připojení k profilům je zajištěno pomocí středového otvoru a to buď na konec profilu do jeho středového otvoru, případně pomocí T-šroubu do drážky kdekoliv po celé délce profilu. Příklad kloubové spojky nastavené na úhel 30° je na Obr. 24



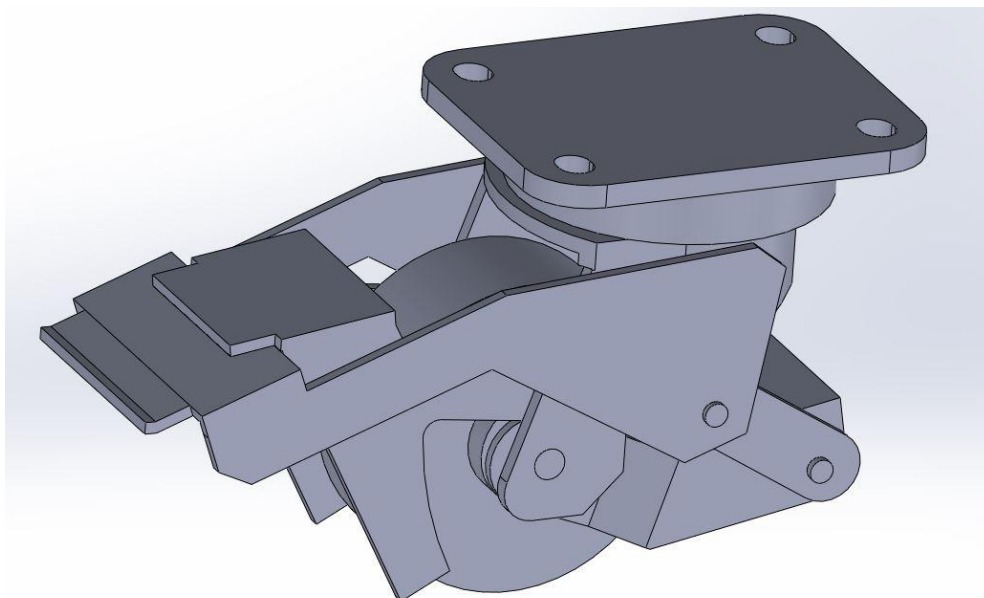
Obr. 24 - Kloubová spojka

Spojení dvou profilů natupo je možné také pomocí koncových spojek, ty také umožňují připojení na drážku. Jejich využití je vhodné zejména pokud je potřeba zachovat volný prostor okolo spoje a není tedy žádoucí využití rohového spojovacího profilu. Profil připojený na koncovou spojku v ose je připojen pomocí samořezného šroubu do středového otvoru profilu. Pro připojení do drážky je pak možno využít T-matice s šroubem procházejícím otvorem v koncové spojce. Kombinace pro připojení profilu na druhý přes drážku je na Obr. 25.



Obr. 25 - Koncová spojka, zjednodušený model

Pro přesun konstrukcí z profilů Rexroth nabízí výrobce ve svém sortimentu i pojezdová kola. Jedním z nabízených typů jsou pojezdová kola kombinovaná s podstavci. Jejich funkce je taková, že v základu slouží jako klasická otočná pojezdová kola. Po přesunutí na požadované místo je však možno sešlápnutím ovládací páky tato kola zaaretovat v pozici. Při tom dojde k vysunutí pevných nohou a nadzvednutí pojezdových kol. To je vhodné zejména u těžkých zařízení, kdy nemůže dojít k případné deformaci kola neměnným zatížením v jedné pozici. Nosnost jednoho kola je 200 kg.



Obr. 26 - Sestava pojezdového kola s integrovanou nohou

6.1.2. Sendvičové panely od fy ELCOM SYSTÉM

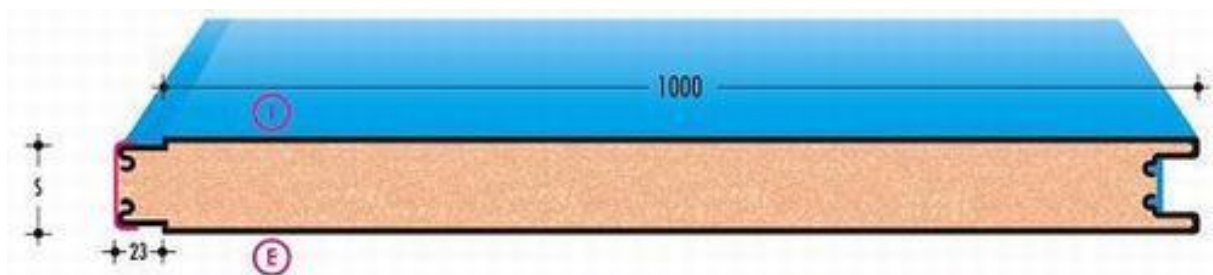
Jako opláštění zkušebního zařízení byly zvoleny sendvičové panely od firmy ELCOM SYSTÉM. Typ panelů byl zvolen TPL/C-ST z produktové řady TERMOPARETI. Tyto panely se dělají v tloušťkách 25, 35, 40, 50, 60, 80, 100, 120 mm. Pro využití při konstrukci byla zvolena tloušťka 50 mm a to z důvodu tepelně technických parametrů. Při provozu je vyžadováno aby nedocházelo k ovlivňování vnitřního prostředí okolím, případně aby teplo neunikalo z interiéru do okolního prostředí. Zvolená tloušťka panelů má součinitel prostupu tepla $U_p = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Konstrukce panelu je tvořena izolačním jádrem ze samozhášecího polyuretanu bez obsahu CFC (chlor-fluorovaných uhlovodíků, mezi něž se řadí i freony). Hustota izolačního materiálu je $\rho_p = 40\text{--}42 \text{ kg/m}^3$, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,022 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Dále se jedná o nehygroskopický materiál. To je z hlediska možné kondenzace na stěnách panelů velmi výhodné, neboť nehygroskopické materiály jsou nenasákavé a nemění svůj objem a vlastnosti pokud jsou vystaveny působení vlhkosti.

Povrchová vrstva je pak tvořena profily z galvanizované oceli tvářené za studena. Může však být vytvořena i z hliníku, mědi či nerezové oceli. Všechny varianty jsou pak opatřeny standardně nátěrem. Barva nátěru může být zvolena podle požadavků. Pro aplikaci ve zkušebním zařízení byly zvoleny panely v bílé barvě, ta odráží tepelné záření a snižuje tak tepelný tok stěnami zařízení do exteriéru. Povrch panelů může být také různě tvarovaný, v nabídce výrobce jsou panely vroubkované či s kulatými propadlinami. Z důvodu snadné čistitelnosti a zamezení usazování nečistot byl zvolen hladký povrch panelů.

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

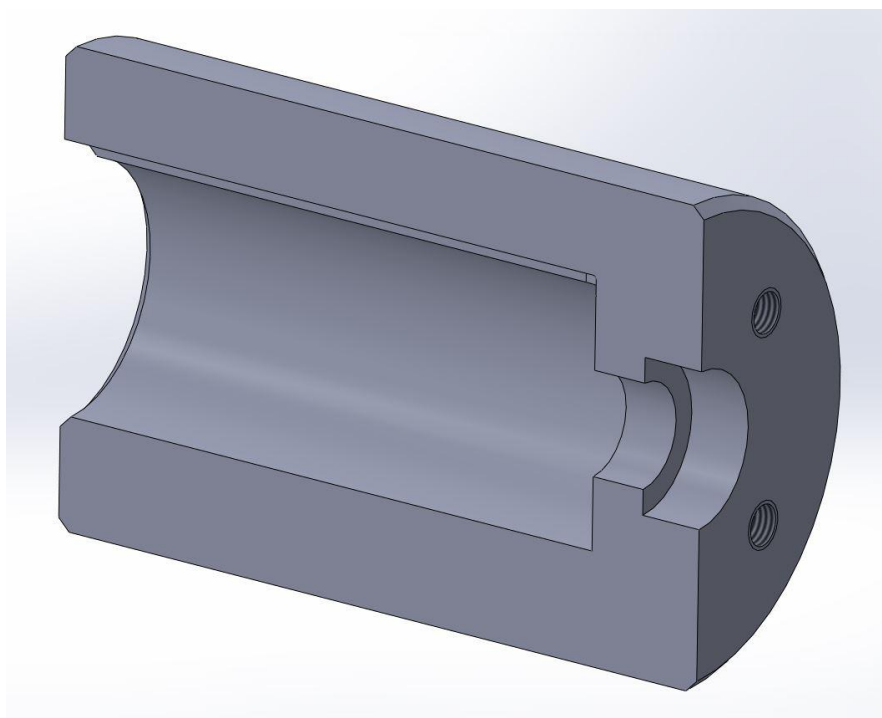
Šířka panelů je pevně dána a je 1000 mm, délka je maximálně 13,6 m. Spojování panelů je zajištěno pomocí drážky a výstupku, které do sebe zapadají. Tvar tohoto zámku a základní rozměry drážky a panelu jsou na Obr. 27. Díky skladbě panelu je možné tyto panely velikostně upravovat pomocí řezání. Panely mají také vysokou nosnost, při rozpětí mezi podpěrnými body 2 m je nosnost panelu 225 kg/m^2 .



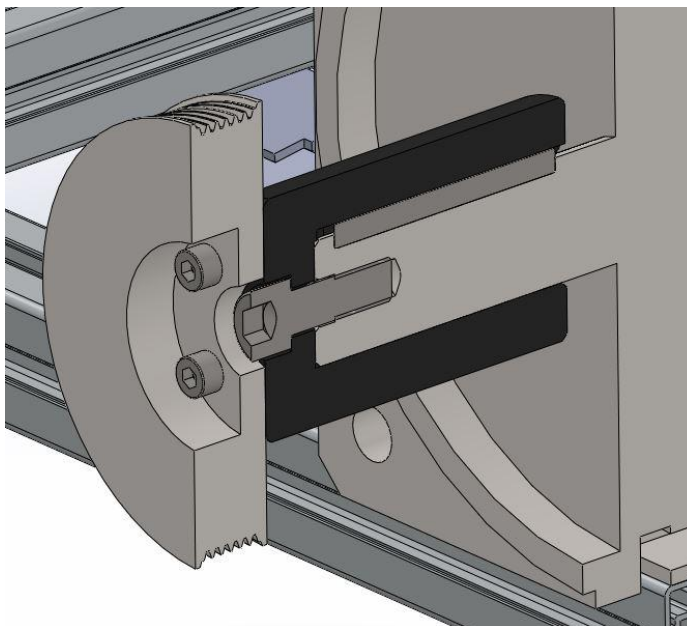
Obr. 27 - Základní rozměry a tvar panelu THERMOPARETI TPL/C-ST (11)

6.1.3. Nástavec na hřídel elektromotoru

Jak bylo zmíněno v kapitole 5. byl zvolen elektromotor s přibližně stejným rozsahem otáček jako má reálný motor automobilu. Díky tomu je možno použít originální řemenici klikového hřídele z daného vozu. Řemenice je však uchycena pomocí šroubů a proto její připojení přímo na hřídel není možné. Byl tedy navržen přechodový díl. Ten se nasadí přes pero a drážku na hřídel elektromotoru a z čelní strany se zajistí šroubem do hřídele. Na čelní stranu se poté může přiložit řemenice a dotáhne se šrouby k nástavci. Řez nástavcem je na Obr. 28, na Obr. 29 je pak řez nástavcem nasazeným na hřídeli s nasazenou řemenicí. Materiál tohoto nástavce je uhlíková ocel.



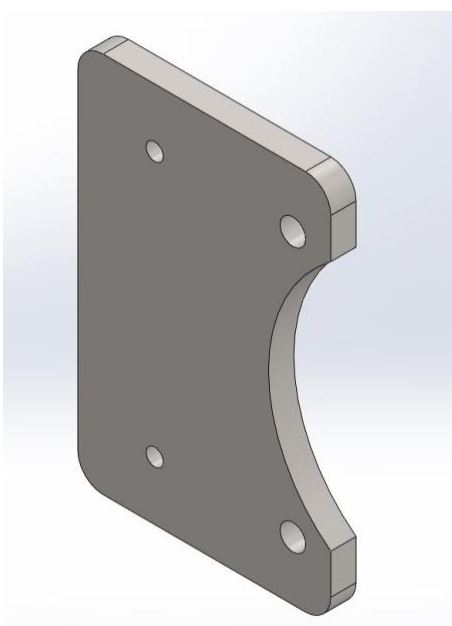
Obr. 28 - Řez nástavcem na hřídel elektromotoru



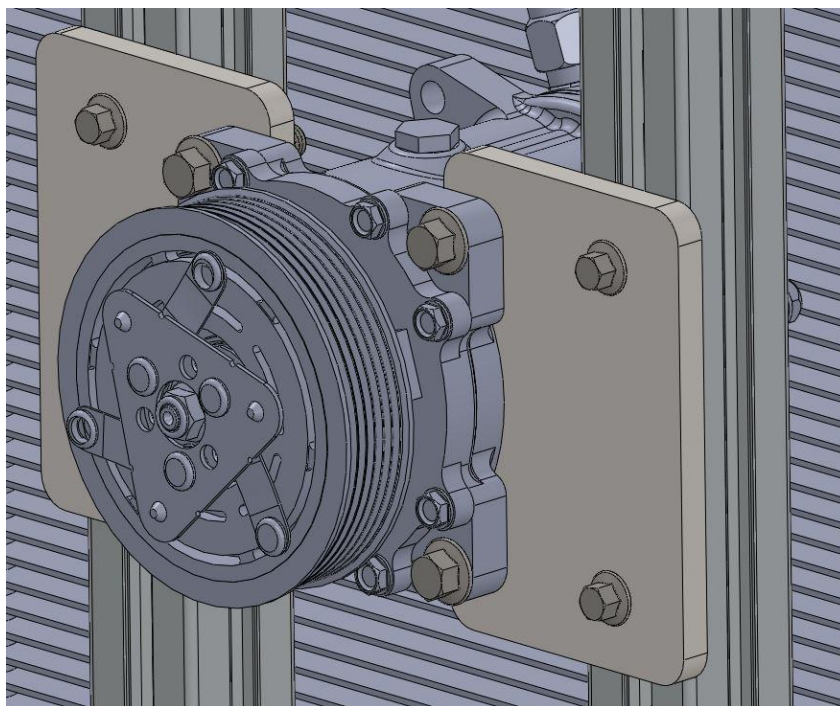
Obr. 29 - Řez nástavcem (černá barva), nasazeným na hřídeli elektromotoru a s nasazenou řemenicí

6.1.4. Uchycení kompresoru

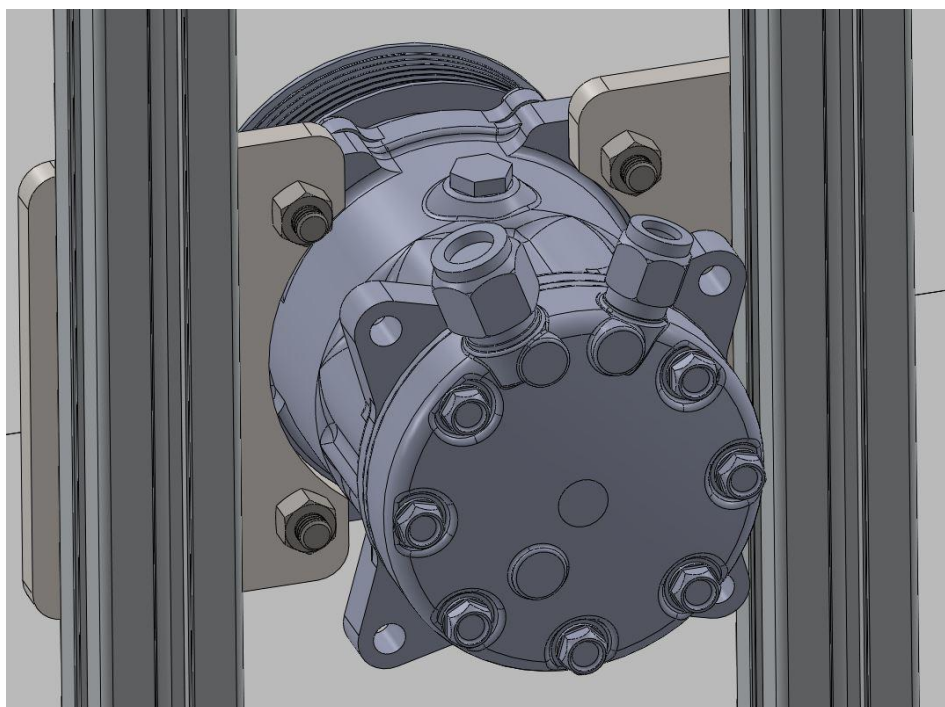
Pro uchycení kompresoru bylo využito jeho montážních otvorů, kterými se uchycuje ve vozidle. K tomuto uchycení slouží plechový díl s otvory pro uchycení. Celý díl byl uvažován jako výpalek z ocelového plechu tloušťky 10 mm, tak aby byla jeho výroba co nejjednodušší a nejlevnější. A to z toho důvodu, že při využití jiného kompresoru je možné, že bude mít jiné rozteče otvorů a tím pádem se bude muset vyrábět nový díl. Sestava kompresoru a držáku je pak přichycena k profilům pomocí T-matice v drážce a šroubu. Tím je také dosaženo možnosti posouvání kompresoru po profilu dle potřeby. Na Obr. 30 je samostatný uchycovací plech a na Obr. 31 a Obr. 32 je pak sestava s kompresorem připevněná na profilu.



Obr. 30 - Uchycovací plech kompresoru



Obr. 31 - Kompresor uchycený k profilům - pohled zepředu



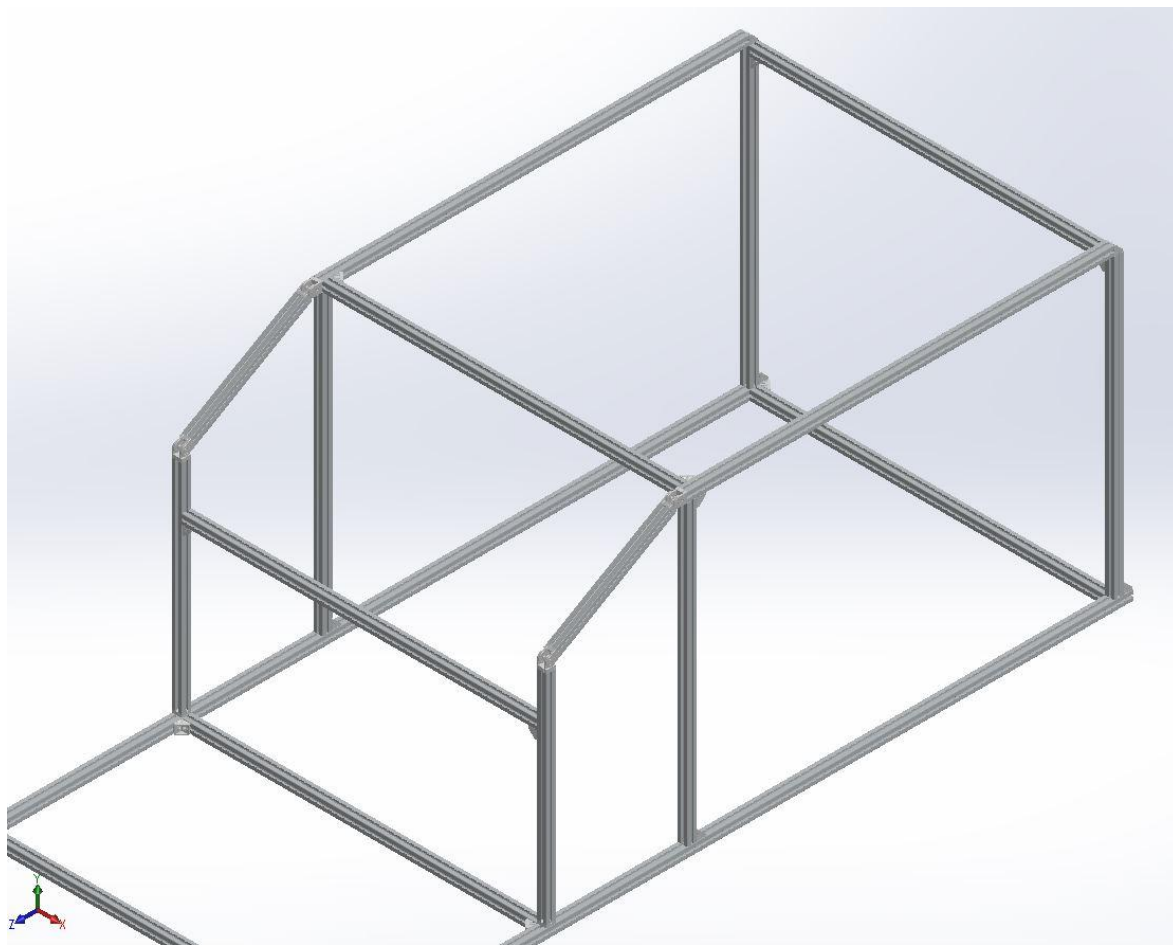
Obr. 32 - Kompresor uchycený k profilům - pohled zezadu

6.2. Nosná konstrukce zkušebního zařízení

Jako základní nosná část celého zkušebního zařízení byla zvolena rámová konstrukce z hliníkových profilů. Díky tomu byla zajištěna modifikovatelnost celého zařízení. Spojení jednotlivých profilů bylo ve většině případů zajištěno pomocí rohových spojovacích profilů na drážku v obou spojovaných profilech. Dále bylo využito i spojení koncové, to je však nevýhodné kvůli nemožnosti změny rozměrů bez fyzické úpravy profilů. Pro šikmé plochy byly použity kloubové spojky s aretací. U nich je opět možné v případě potřeby změnit úhel.

Rám je rozdělen na dva celky, první tvoří vnitřní prostor kabiny vozu a druhý motorový prostor. Oba prostory mají společné dolní stranové profily, ostatní části rámu těchto prostorů spolu nejsou spojeny. Je tedy možno provést demontáž a úpravu rozměrů pouze jedné části při zachování druhé.

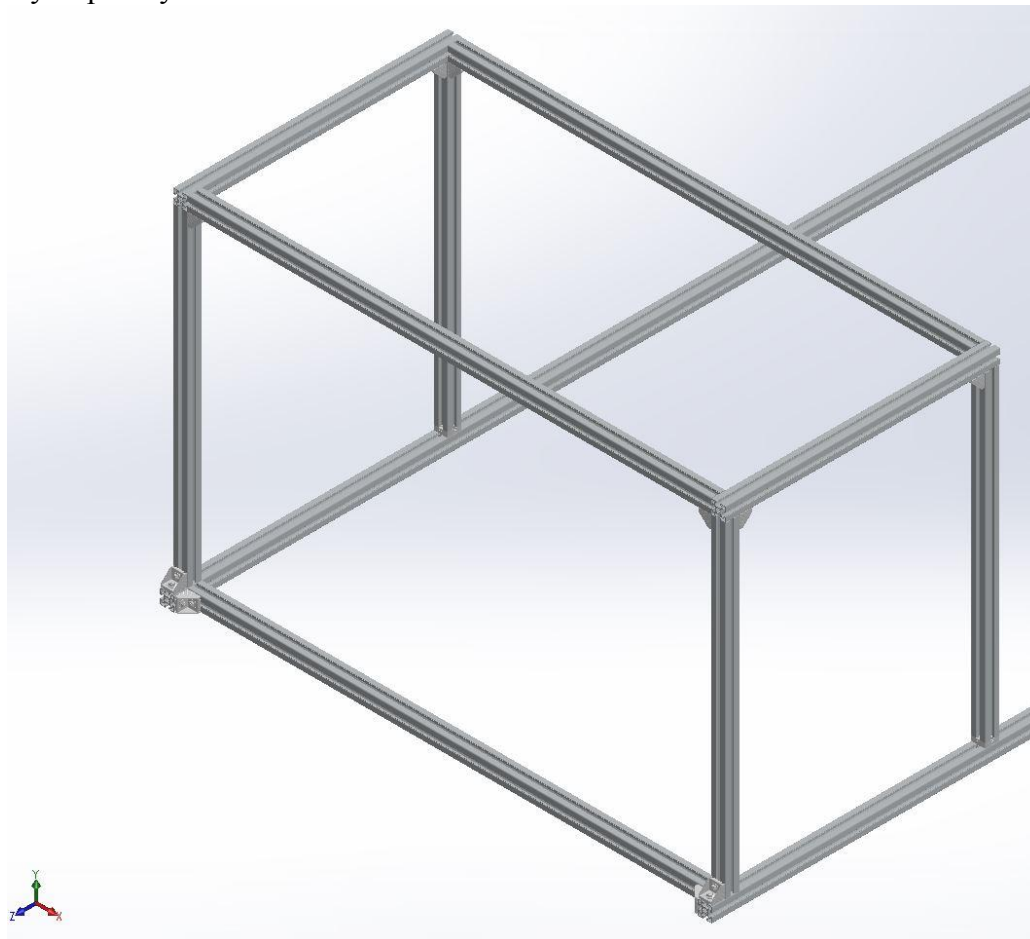
Základ pro rámy obou částí je tedy tvořen dvěma podélnými profily na stranách. Pro rám tvořící prostor kabiny jsou tyto dva profily spojeny dvěma příčnými profily a to na začátku a na konci prostoru. Dále jsou na konci a na začátku prostoru svislé profily. Horní část je tvořena dvojicí vodorovných profilů které dosahují přibližně do 3/4 celé délky prostoru kabiny. Zde jsou poté tyto vodorovné profily podepřeny další dvojicí svislých profilů a na konci jsou opatřeny kloubovou spojkou. Ta je poté napojena na dva šikmé profily tvořící sklon prostoru kabiny, který simuluje sklon čelního skla u automobilu. Tyto šikmé profily na konci přechází rovnou do koncových svislých profilů. V horní části jsou pak celkem tři příčné profily, dva na koncích a jeden v místě přechodu vodorovných profilů na šikmé.



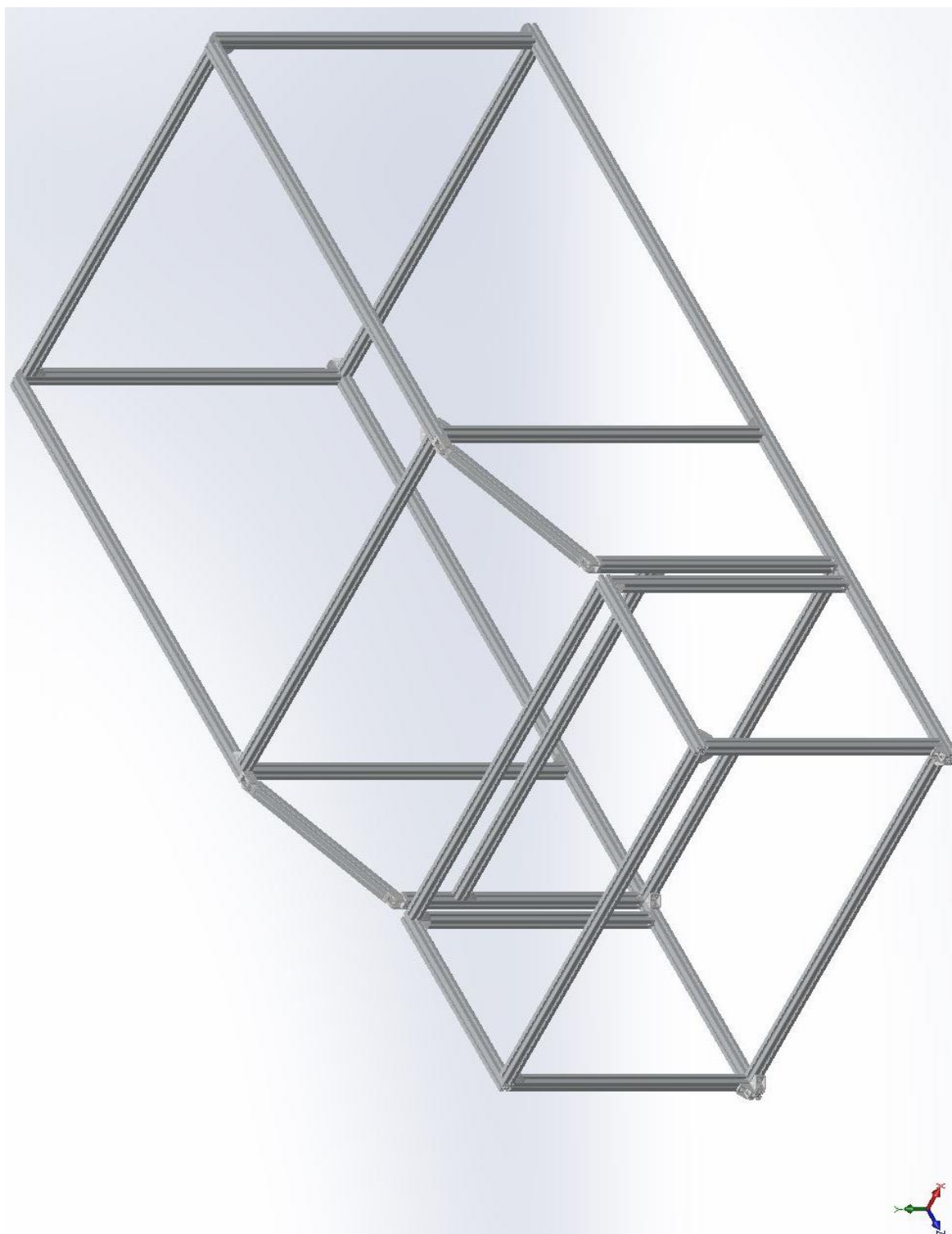
Obr. 33 - Izometrický pohled na rám tvořící prostor kabiny

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Prostor motoru pak tvoří čtyři svislé profily, dva na každé straně tvořící rohy kvádr. Tento pomyslný kvádr je pak spojen na konci dolních společných profilů jedním příčným profilem. V horní části jsou pak čtyři profily tvořící horní stranu pomyslného kvádru s rohy nad svislými profily.



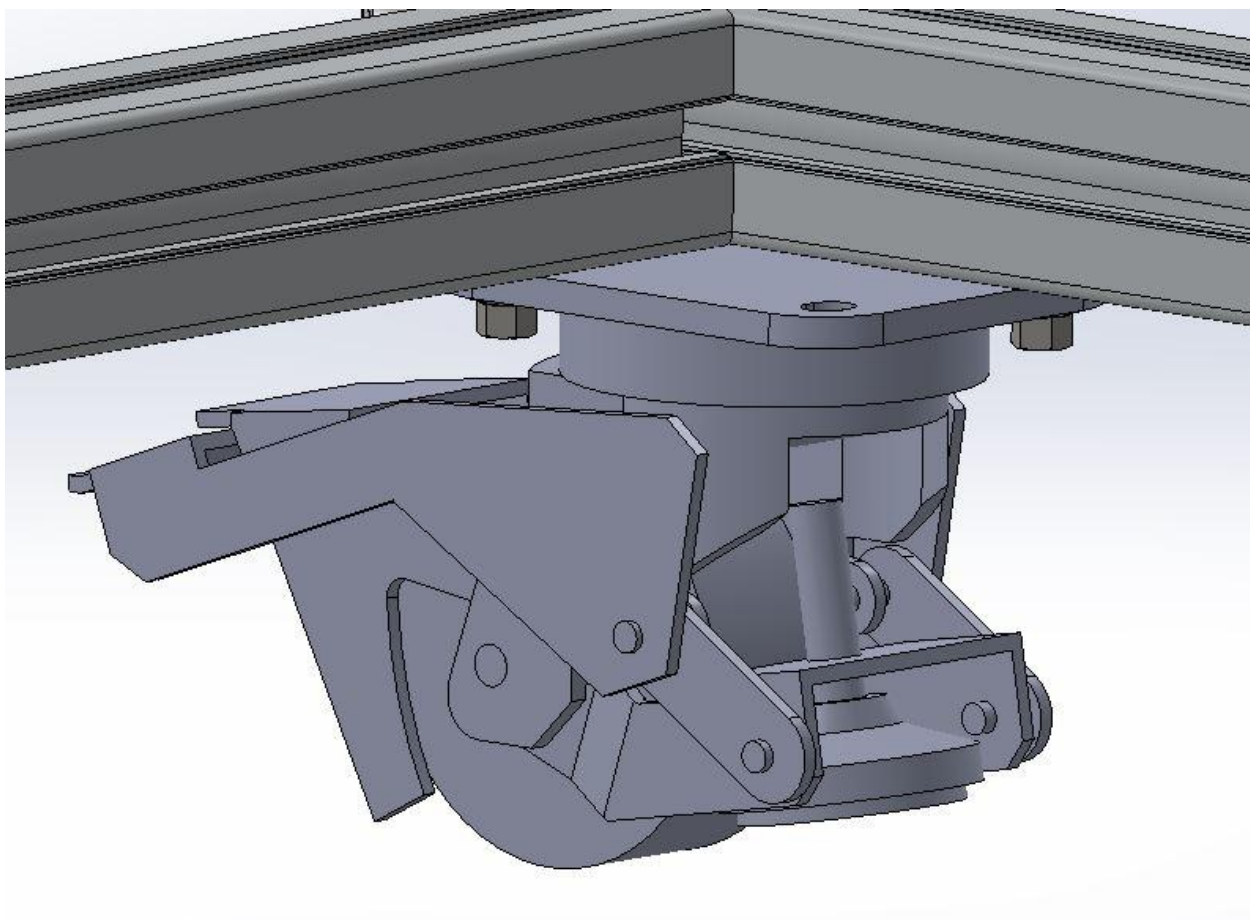
Obr. 34 - Izometrický pohled na rám tvořící prostor motoru



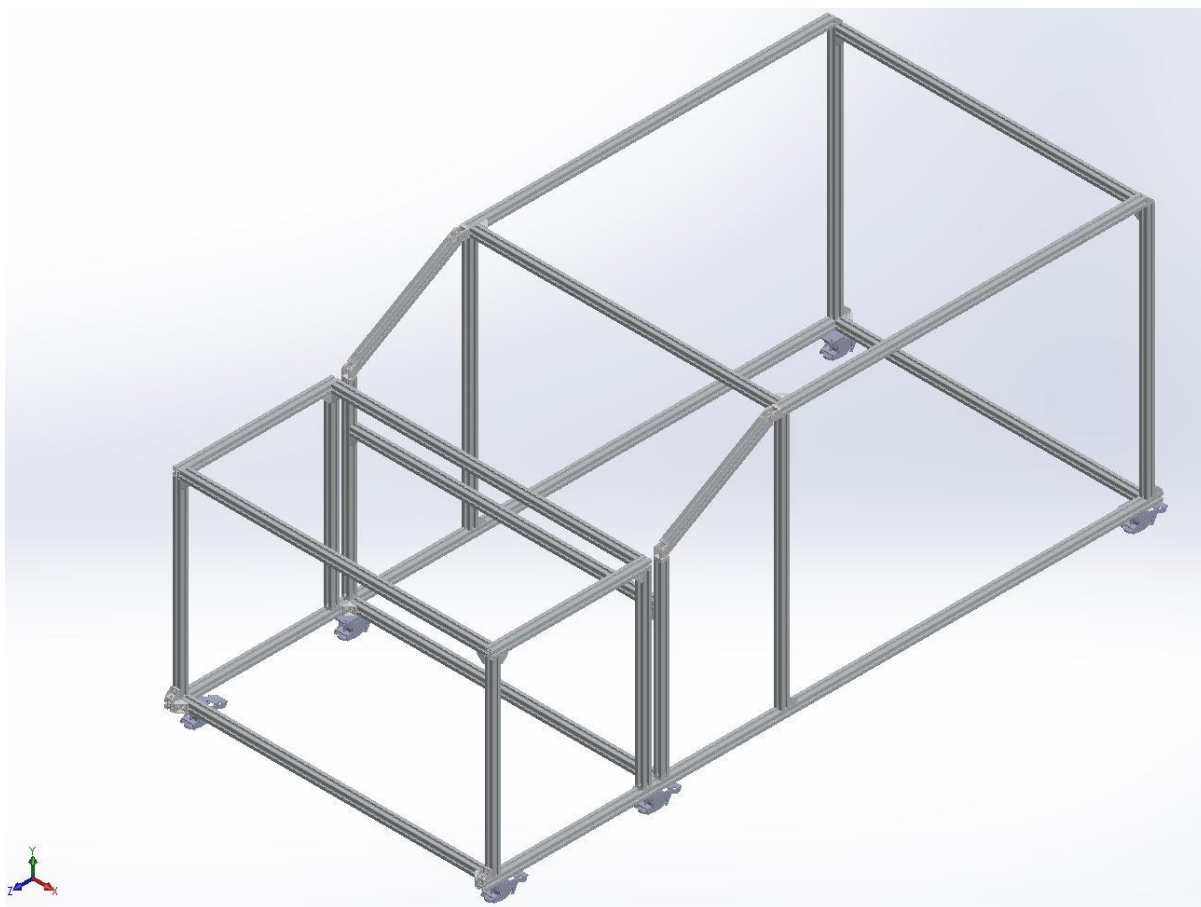
Obr. 35 - Izometrický pohled na celý rám zkušebního zařízení

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Pro možnost přesunu celé sestavy je zařízení vybaveno pojezdovými koly. Použita byla pojezdová kola kombinovaná s pevnými podstavci popsaná v kapitole 6.1.1. Pro hlavní rám bylo použito celkem šest kol. Tři na každé straně, přičemž na konci a na začátku dolních podélných profilů je vždy jeden pár kol a jeden pár je umístěn u spodního příčného profilu u začátku prostoru kabiny. Vzhledem k primárnímu určení těchto kol na větší profily nebylo možné přichytit kola standardním způsobem, protože upevňovací otvory měly rozteč větší než je šířka profilu. Bylo tedy zvoleno umístění kol vždy v místě, kde profily tvoří roh. V tomto rohu pak byly kola přichyceny pomocí T-matic a šroubů do drážek s tím, že byly vždy využity tři upevňovací otvory. Uchycení kola je zobrazeno na Obr. 36, třetí šroub je na obrázku schován za profilem.

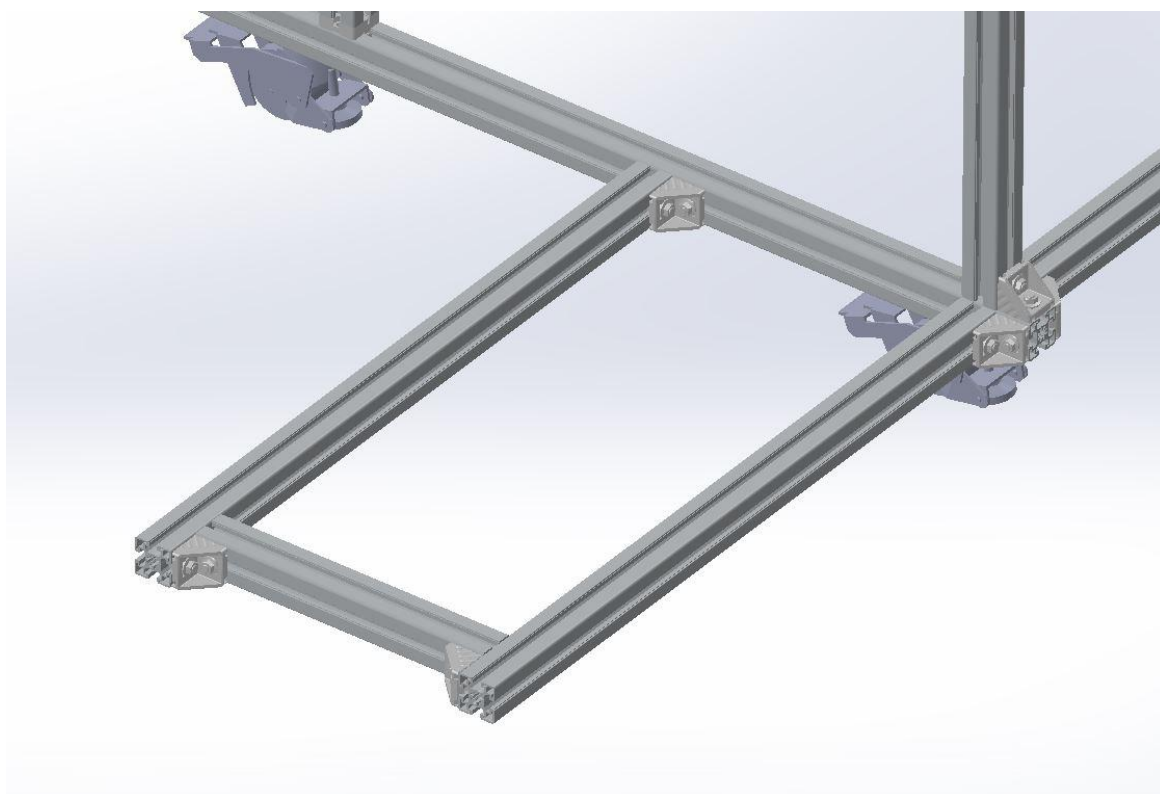


Obr. 36 - Uchycení kola

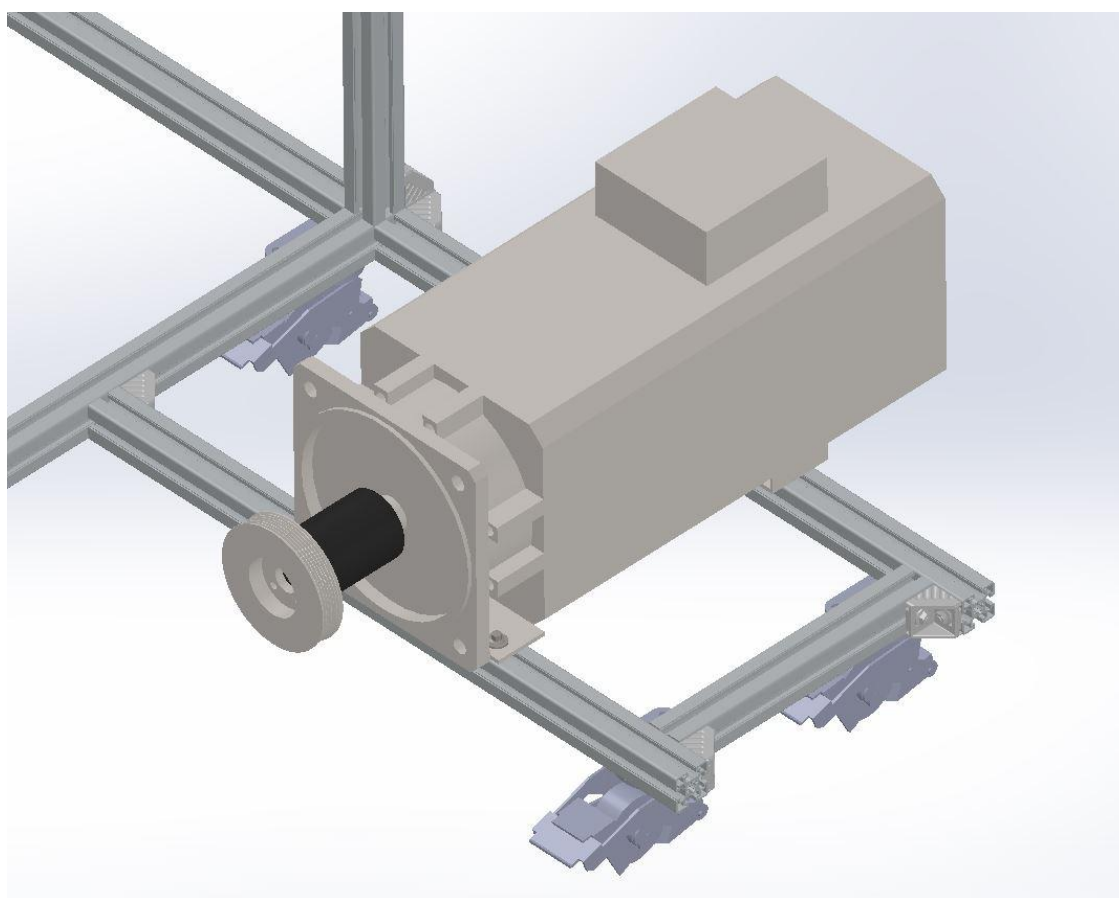


Obr. 37 - Pohled na rám s umístěnými koly

Pro uchycení elektromotoru pohánějícího kompresor slouží obdélníková rámová konstrukce umístěná na boku rámu motorového prostoru. Umístění mimo prostor motoru bylo zvoleno aby nedocházelo k ofukování motoru teplým vzduchem vstupujícím do prostoru motoru přes kondenzátor. Tím by došlo ke zhoršení provozních podmínek motoru a snížení jeho životnosti. Dále je také k motoru možno přistupovat bez demontáže krytů a je tedy snazší údržba a nastavení. Elektromotor je k rámu přichycen přes upevňovací otvory ve své spodní části pomocí T-matic v drážce a šroubů s podložkou. To umožňuje posun motoru v podstatě po celé délce rámu a tím napínání klínového řemene spojujícího motor s kompresorem. Celý rám je díky způsobu přichycení možné posunovat po celé délce rámu motorového prostoru, je však potřeba dbát na to aby řemenice umístěná na elektromotoru byla vždy v rovině s řemenicí kompresoru a nedocházelo tak k vychýlení řemenu. Z důvodu zatížení rámu hmotností elektromotoru byly na rám umístěny další dvě pojezdová kola. Díky tomu nedochází k nadměrnému zatěžování uchycení rámu a také je zamezeno případnému naklánění celého zkušebního zařízení v důsledku převážení, protože ve všech krajních bodech je celá konstrukce podepřena. Na Obr. 38 je pak zobrazen pouze rám připojený k základnímu rámu a na Obr. 39 je umístění pojezdových kol a elektromotoru. Rám je také možno umístit na opačnou stranu podle dispozice místa, kde bude zkušební zařízení umístěno, ve vzorovém návrhu je umístěn na pravé straně, ve směru pomyslné jízdy automobilu.



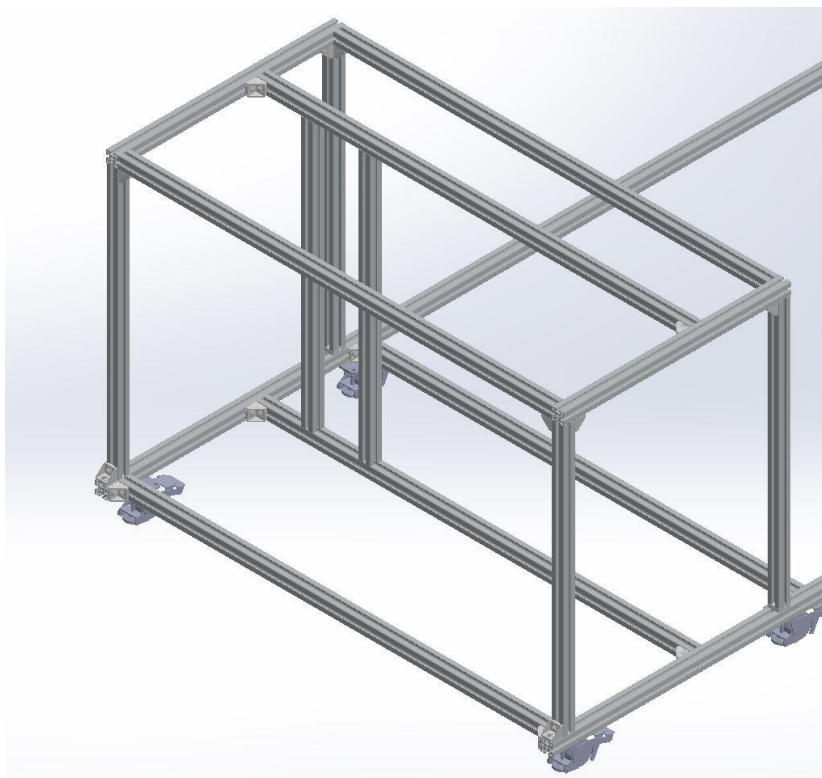
Obr. 38 - Rám elektromotoru



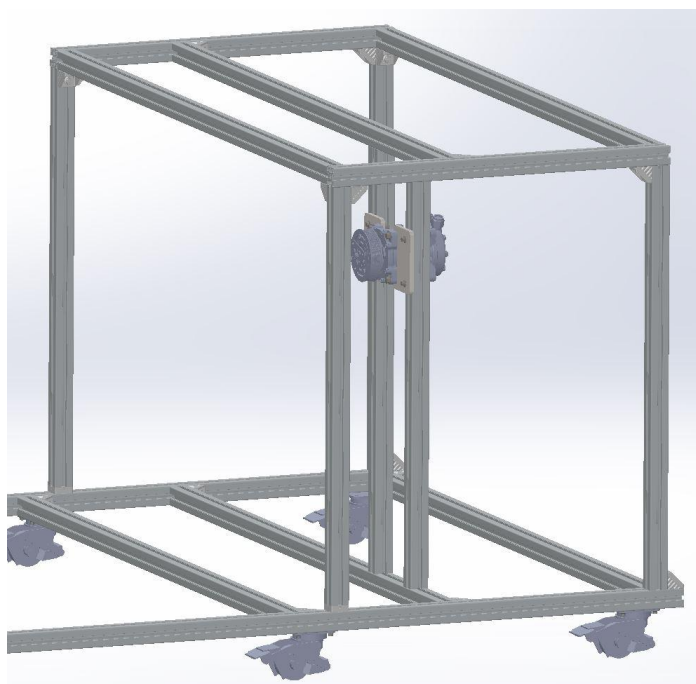
Obr. 39 - Rám elektromotoru s motorem a pojezdovými koly

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Uchycení kompresoru bylo realizováno pomocí uchycovacího plechu popsaného v kapitole 6.1.4. Ten je uchycen pomocí T-matice a šroubů na dva svislé profily, to umožňuje posun kompresoru ve svislé ose. Tyto dva svislé profily jsou pak přichyceny na dva příčné profily, jeden v horní části rámu motoru a jeden v jeho spodní části. Posun těchto dvou profilů umožňuje změnu polohy ve vodorovné ose.



Obr. 40 - Rám pro uchycení kompresoru vložený do rámu prostoru motoru



Obr. 41 - Kompresor uchycený v rámu

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Pro uchycení klimatizačního modulu v prostoru kabiny zkušebního zařízení je využito držáku modulů na kterém se klimatizační modul nachází i v automobilu. Na sestavu držáku modulů a klimatizační modul je pak upevněna palubní deska s příslušnými výustkami. Držák modulů má na každé straně zakončení s otvory pro přichycení k rámu vozidla. Ty jsou využity i pro uchycení k rámu zkušebního zařízení. Fotografie těchto zakončení jsou na Obr. 42 a Obr. 43



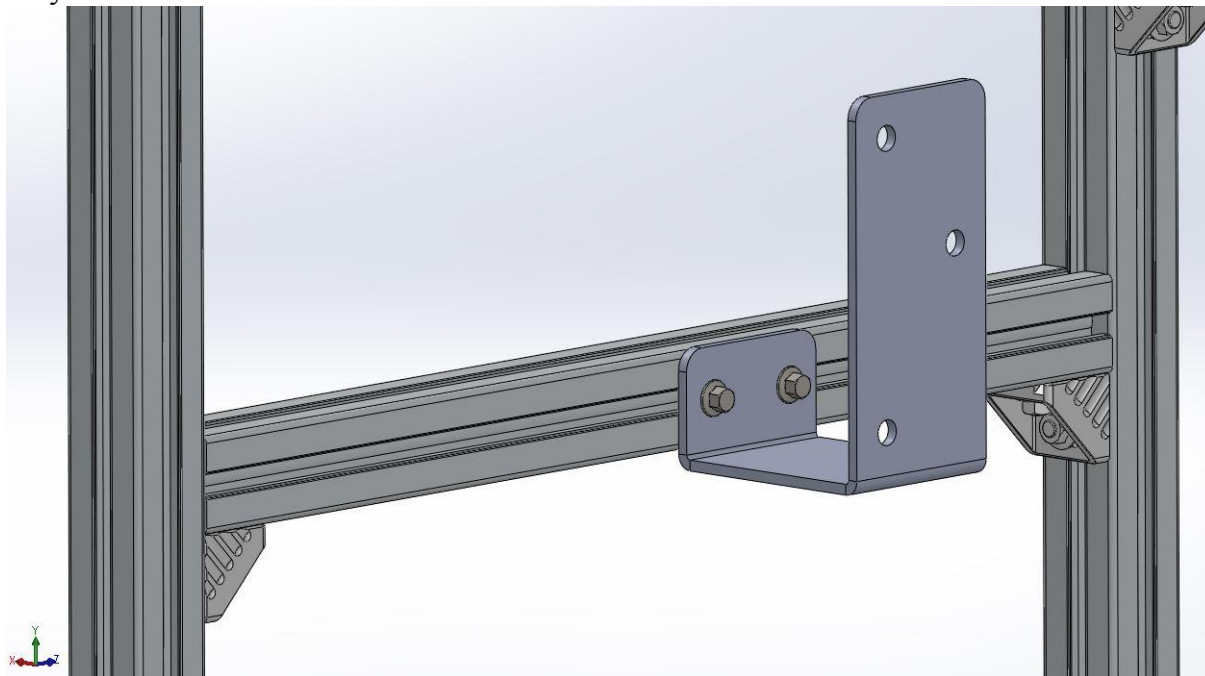
Obr. 42 - Levé uchycení držáku modulů po směru jízdy (foto archiv autora)



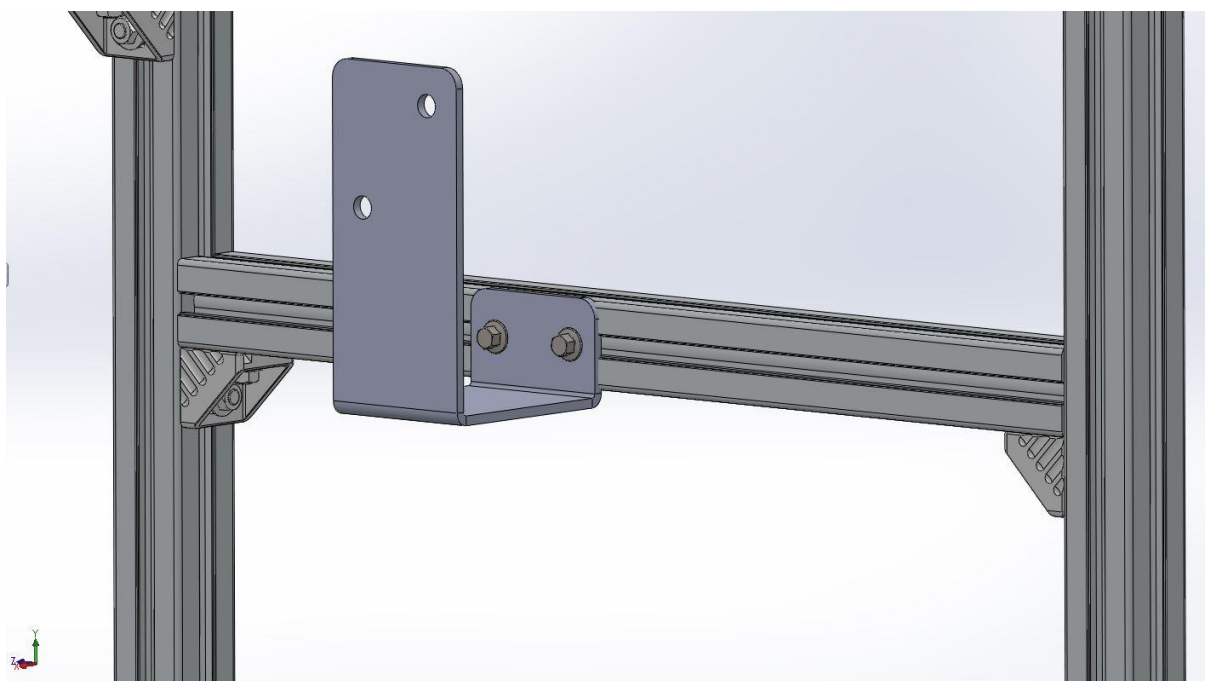
Obr. 43 - Pravé uchycení držáku modulů po směru jízdy (foto archiv autora)

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

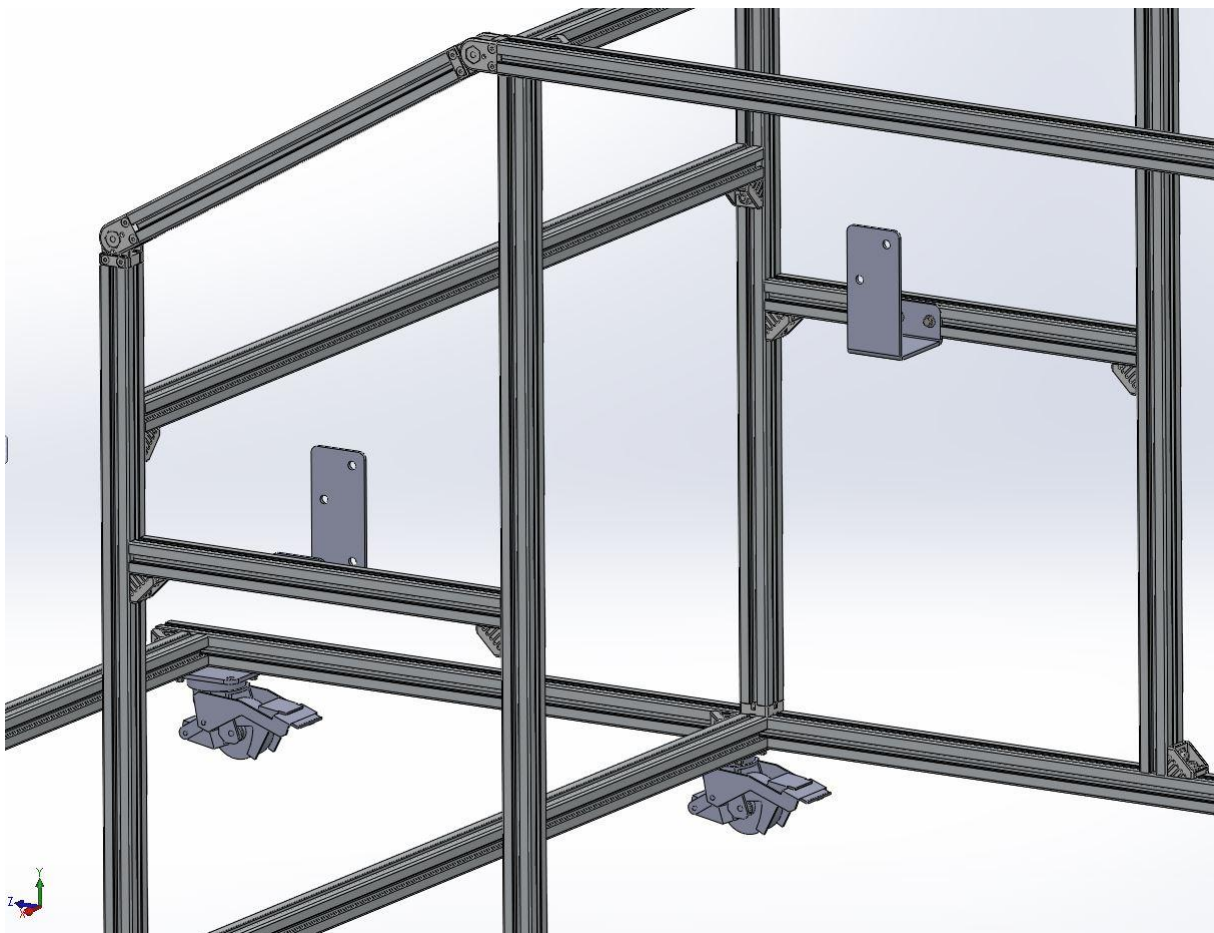
Z důvodu menší šířky držáku modulů, než je šířka zkušebního zařízení, je pro uchycení použito tvarovaných plechových držáků. Ty jsou uchyceny na dva vodorovné profily, které se nachází v přední části rámu kabiny. K těmto plechům se pak upevňují uchycení držáku modulů.



Obr. 44 - Levý držák pro uchycení držáku modulů připojený na nosný profil



Obr. 45 - Pravý držák pro uchycení držáku modulů připojený na nosný profil



Obr. 46 - Pohled na pravý i levý držák a umístění jejich nosných profilů v rámu kabiny

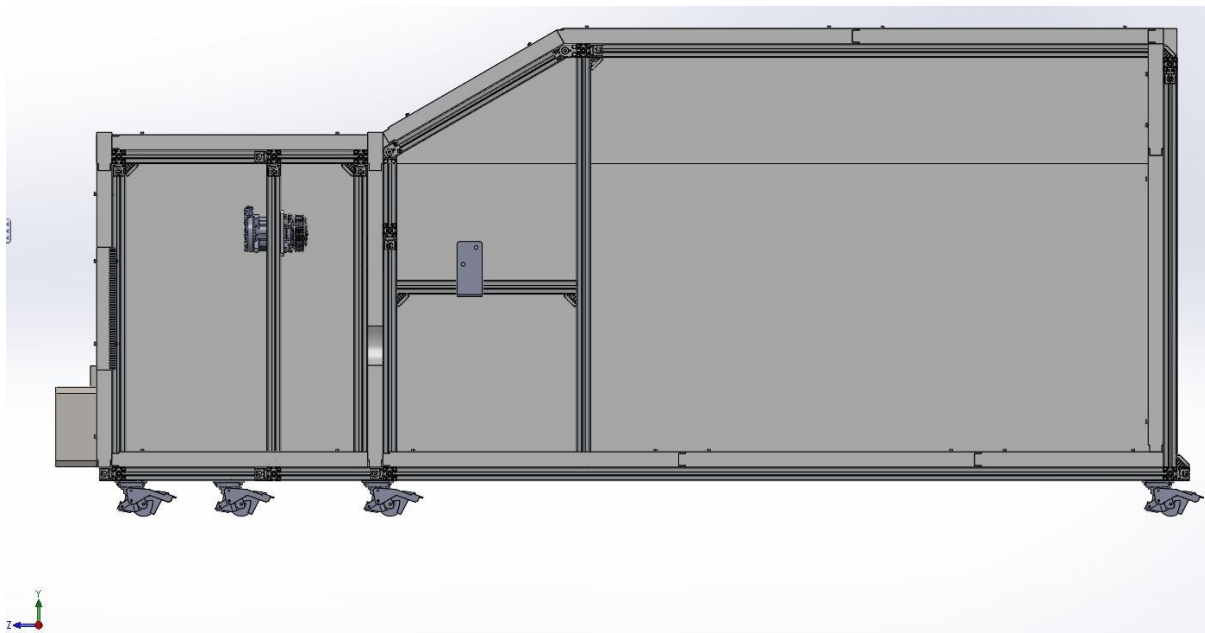
6.3. Opláštění zkušebního zařízení

Jako opláštění celého zkušebního zařízení byly zvoleny fasádní izolační panely od firmy ELCOM System. Popis těchto panelů je v kapitole 6.1.2. Tyto panely byly zvoleny jak pro svoje vlastnosti, tak i protože jde poměrně snadno upravit jejich rozměr. Výrobní šířka panelů je 1000 mm a délka může dosahovat maximálně 13,6 m. Rozměry opláštění tak byly voleny aby nutnost úprav panelů byla co nejmenší.

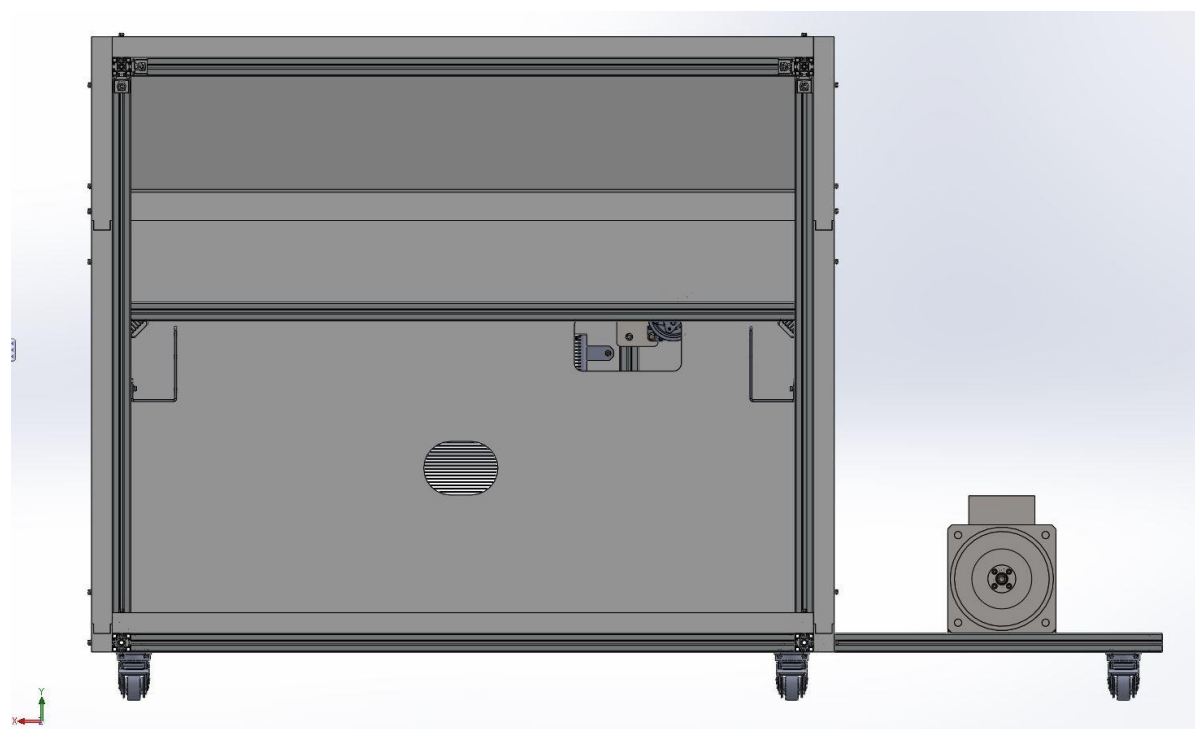
Přichycení panelů k profilům rámu je pomocí T-matic v drážce a šroubů. Díky tomu je snadná jejich montáž i demontáž. Každý panel je uchycen pomocí čtyř šroubů. Pokud je na jedné stěně více panelů jsou také spojeny na pero a drážku, které mají tyto panely z výroby a dochází tak k dobrému utěsnění. Při požadavku na vyšší těsnost prostoru kabiny je pak možné spoje mezi jednotlivými profily přelepit neprůvzdušnou páskou a tak dosáhnout požadované těsnosti. Přílišná těsnost však není vždy potřebná, v automobilu dochází k odvodu vzduchu z kabiny v zadní části vozu. Proto i zadní část zkušebního zařízení by při normálním provozu neměla být nadměrně zatěsněna a to aby mohl netěsnostmi proudit vzduch ven ze zkušebního zařízení. V přední části simulující motorový prostor, pak ve spodní části není opláštění žádné a vzduch tak může proudit volně pod zkušební zařízení, což simuluje vzduch proudící ven z motorové prostoru automobilu směrem k vozovce. Uchycení panelů také bylo voleno většinou z venkovní strany rámu. Toto řešení je výhodné protože nedochází ke vzniku tepelných mostů, které by tvořily profily rámu, pokud by byly desky opláštění vloženy například mezi

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

jednotlivé profily. Také je v rozích zajištěn přesah panelů, což opět eliminuje tepelné mosty. Vznik tepelných mostů je nežádoucí a to z toho důvodu, že pokud bude zkušební zařízení umístěno v místnosti s nižší teplotou, než bude teplota uvnitř zařízení, docházelo by k únikům tepla. Snižoval by se tedy potřebný chladicí výkon klimatizačního zařízení, nebo by bylo potřeba zvyšovat výkon na vnitřním vytápění simulujícím tepelnou zátěž.



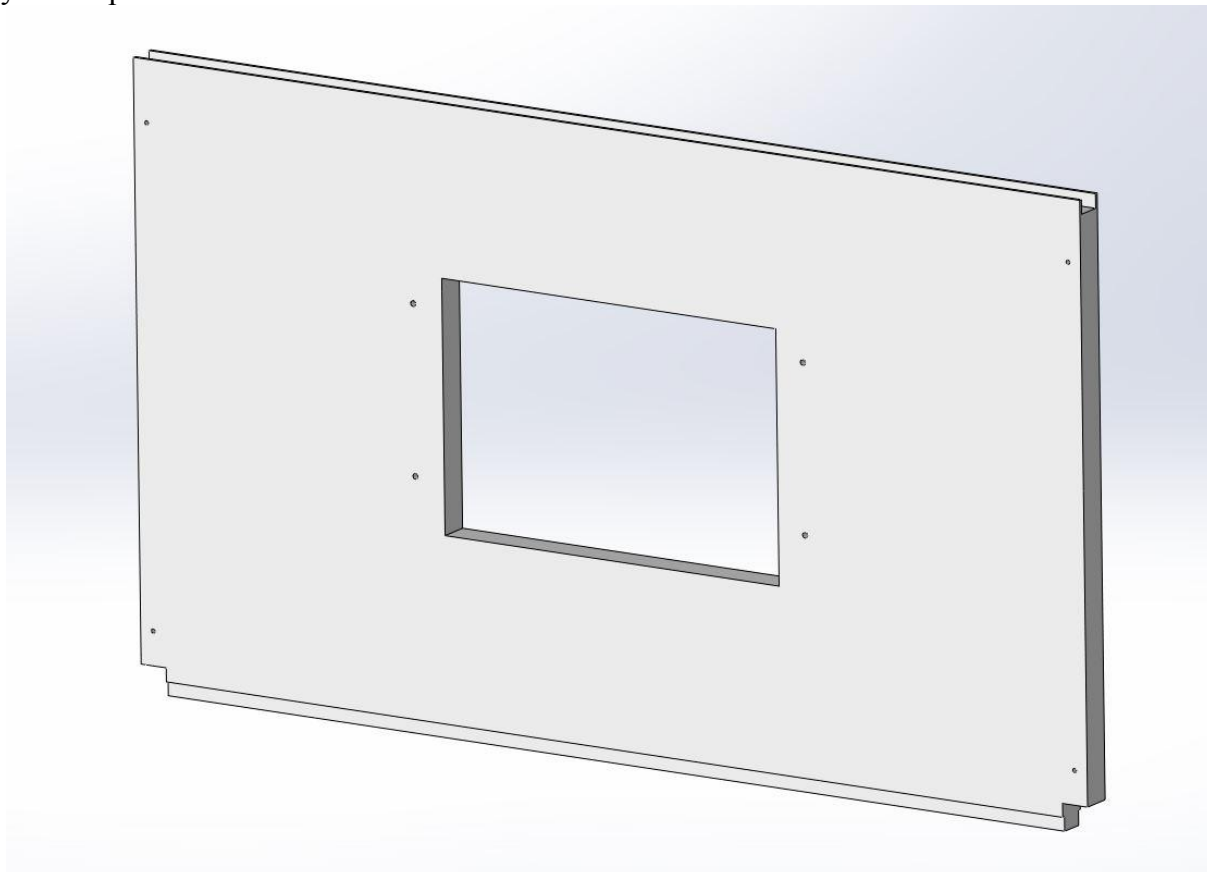
Obr. 47 - Podélný řez kompletně opláštěným zkušebním zařízením včetně všech dalších prvků



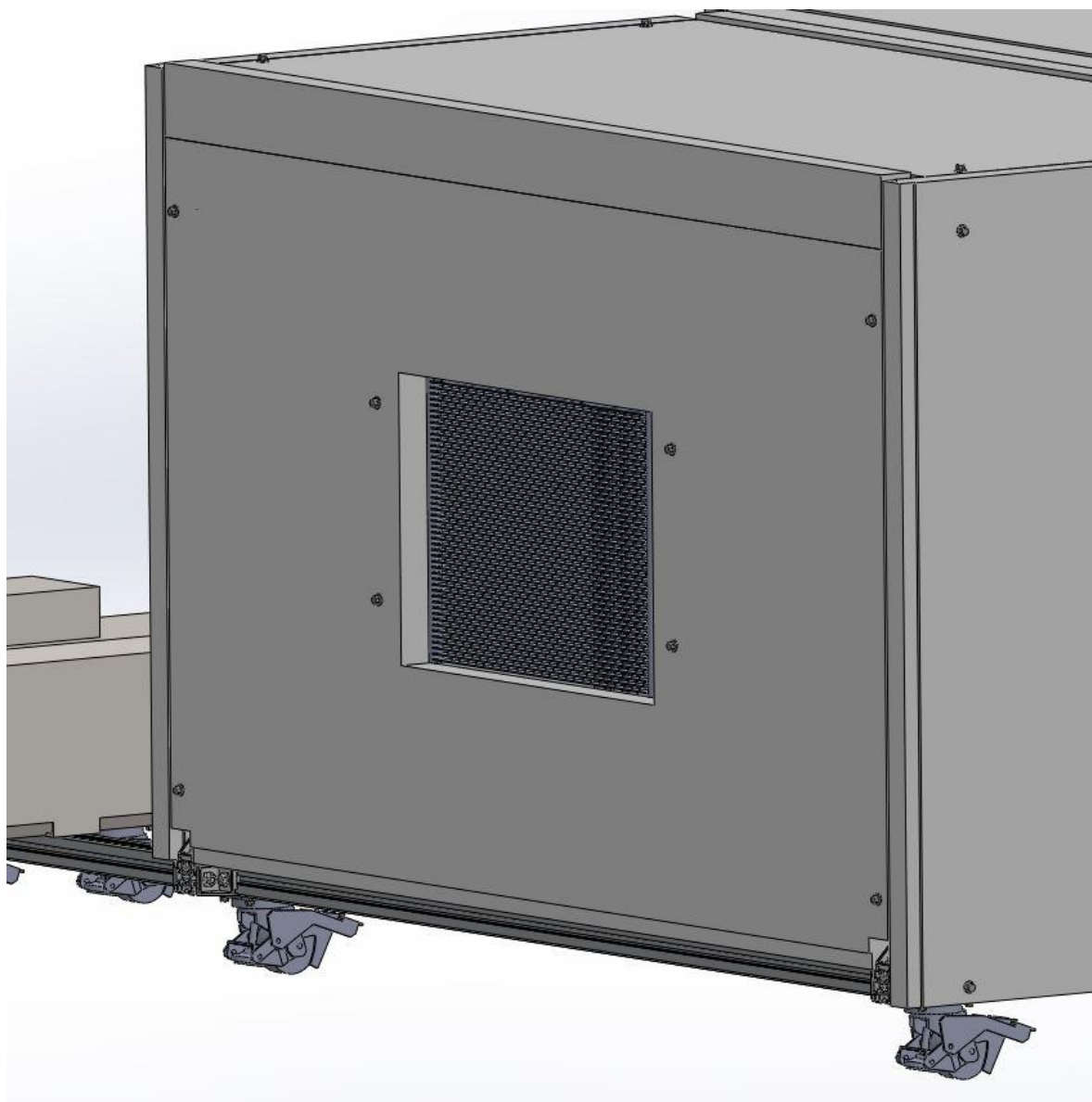
Obr. 48 - Příčný řez kompletně opláštěným zkušebním zařízením při pohledu zezadu

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Bylo využito také několika panelů s otvory. Prvním takto upraveným panelem je čelní panel prostoru motoru. V otvoru v tomto panelu je pak zasazen kondenzátor chladivového okruhu klimatizačního zařízení. Kondenzátor je přichycen pomocí šroubů prošroubovaných skrz upevňovací otvory kondenzátoru a panel a na druhé straně jsou matky. Panel má také vyříznuté spodní rohy aby nedocházelo ke kolizi panelu s rohovými spojkami. Na otvor v tomto panelu je pak také přivedeno potrubí s upraveným vzduchem, dle požadavků uvedených v kapitole 4.



Obr. 49 - Panel pro umístění kondenzátoru

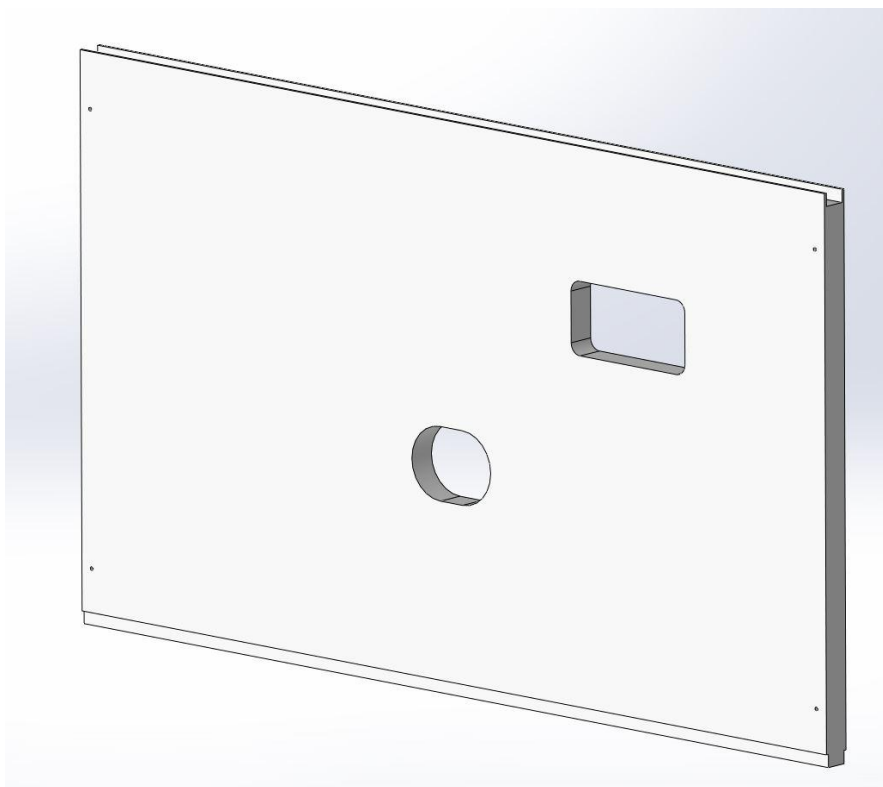


Obr. 50 - Panel zasazený v rámu a s přišroubovaným kondenzátorem

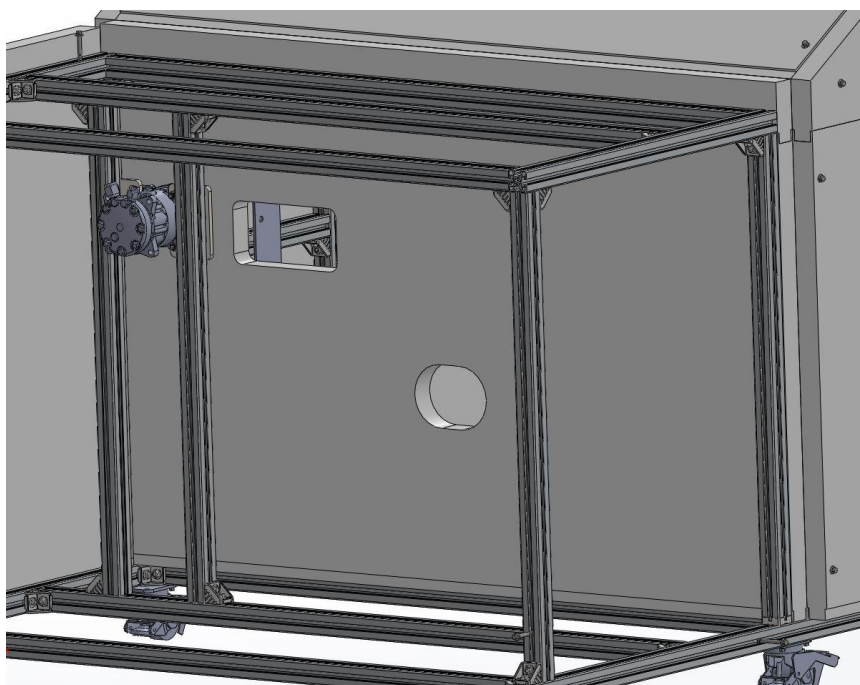
Rozměry otvoru v panelu pak závisí na použitém kondenzátoru a pokud dojde k jeho náhradě za jiný typ je potřeba ověřit správnou velikost a případně vyrobit panel nový.

Dalším upravovaným panelem je panel oddělující prostor motoru od prostoru kabiny. Tento panel není pevně přichycen k žádnému profilu, ale je vložen do mezery mezi svislými profily motorového rámu a rámu kabiny. Je snadno dostupný a není tak složitá jeho výměna. Otvory v něm obsažené slouží pro propojení kompresoru a kondenzátoru s modulem klimatizace, který se nachází v prostoru kabiny. Také je zde prostup pro nasávání vzduchu. U automobilu dochází k nasávání vzduchu převážně u čelního skla kde je přetlak. U navrženého zkušebního zařízení se osadí pouze část potrubí vedoucího od klimatizačního modulu skrz motorovou přepážku a vzduch se nasává přímo z uvažovaného motorového prostoru.

Prostupy tímto panelem je nutno dobře zatěsnit, aby nedocházelo k proudění vzduchu z prostoru kabiny do prostoru motoru nebo opačně. Jejich polohu a velikost je vždy potřeba určit dle rozměrů na měřeném klimatizačním modulu. Otvory ve vzorovém panelu odpovídají polohou a rozměry prostupům pro klimatizační modul z vozu Škoda Octavia II.



Obr. 51 - Panel dělicí prostor motoru a prostor kabiny s otvory pro vstup vzduchu a chladičového potrubí



Obr. 52 - Dělicí panel v sestavě zkušebního zařízení.

Dále je také nutno v bočním panelu motorového prostoru udělat otvor pro spojení řemenice na elektromotoru a na kompresoru. Tento otvor je potřeba udělat až dodatečně, když bude známa poloha obou součástí.

7. Vytápění vnitřního prostoru pro simulaci tepelné zátěže

Z důvodu simulace tepelné zátěže bylo navrženo elektrické vytápění vnitřního prostoru. Toto vytápění svým výkonem pokrývá vypočítané tepelné zisky a také tepelné ztráty prostupem opláštěním zkušebního zařízení, které je potřeba kompenzovat. Toto vytápění je umístěno uvnitř prostoru kabiny zkušebního zařízení. Pro přichycení rohože ke stěně je použito tepelně odolného lepidla, celá rohož je poté přelepena hliníkovou folií pro lepší předávání tepla. Při potažení hliníkovou folií se nebude předávat teplo pouze z kabelů, ale bude rozprostřeno do plochy celé folie.

Pro vytápění byly zvoleny topné rohože pro vytápění venkovních prostor EKOHEAT WAY 300. Tyto rohože se prodávají c různých délkách a mají šířku 0,5 m, výkon 300 W/m^2 a pracující s napětím 230 V. Výkon těchto rohoží lze regulovat změnou napětí. Velikosti topných ploch na jednotlivých částech zkušebního zařízení jsou uvedeny v tabulce 13.

Umístění	Plocha	Výkon
[-]	[m ²]	[W]
Levá boční stěna	2	600
Pravá boční stěna	2	600
Horní stěna	1,5	450
Šikmá čelní stěna	0,75	225
Zadní stěna	1,5	450
Celkem	7,75	2325

Tabulka 13 - Plochy a výkony topné rohože

Celkový instalovaný topný výkon je tedy 2325 W. Vypočítaná maximální tepelná zátěž činí 1927,4 W při výpočtu dle norem a 1240 W pro výpočet v programu TRNSYS. Instalovaný tepelný výkon je tedy vyšší a je možno simulovat i vyšší tepelnou zátěž. Pokud by bylo potřeba ještě vyššího tepelného výkonu, je možno do prostoru kabiny nainstalovat například infrazářiče.

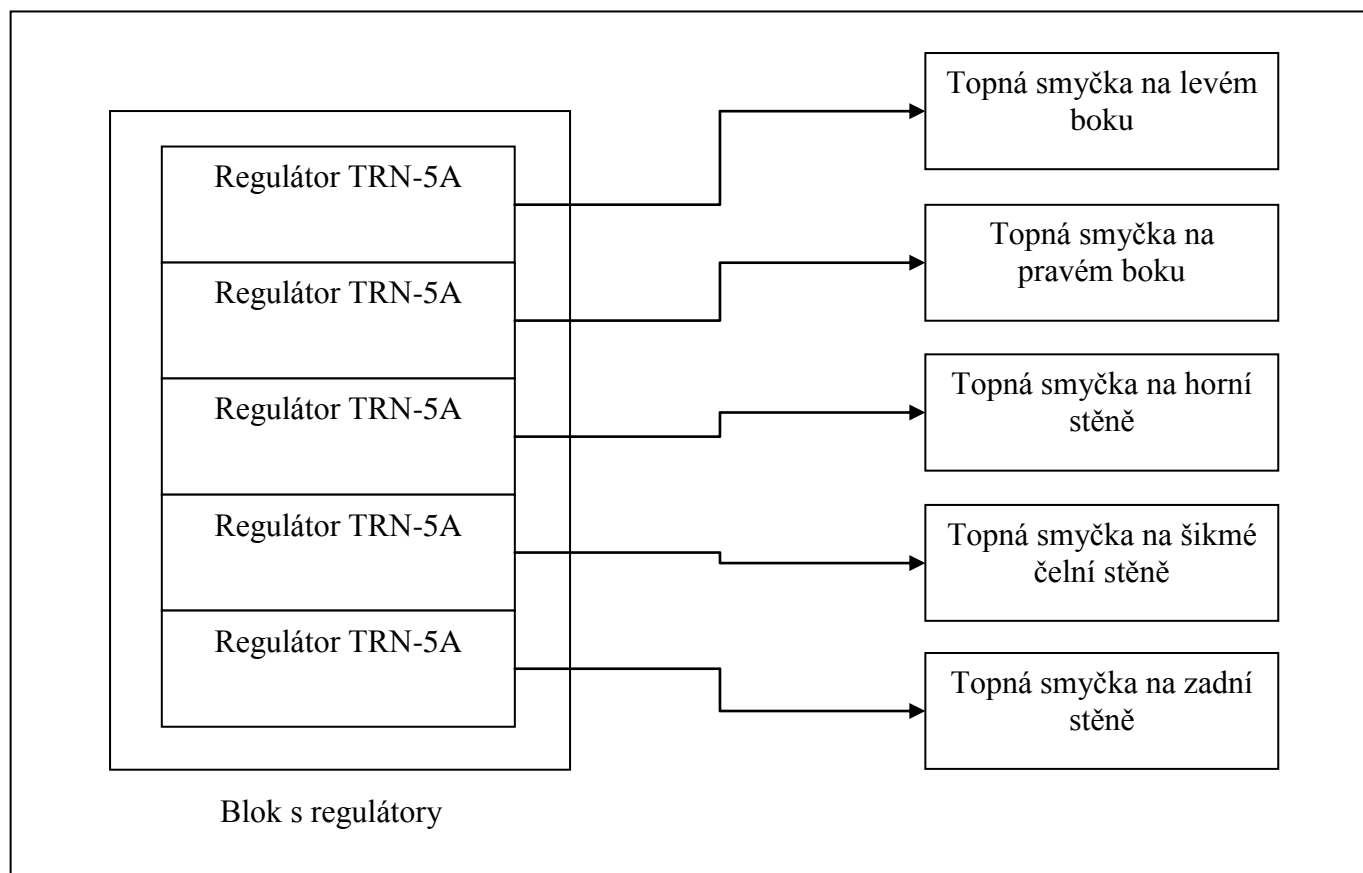
Otopné smyčky budou rozděleny do zón dle jejich umístění. Celkem tedy bude šest topných zón. Každá z těchto zón pak bude samostatně regulována triakovým regulátorem napětí TRN-5A od fy. Bel. Ten umožňuje regulaci napětí od 0 % do 100 % a maximální konstantní proud je 5 A. Díky samostatné regulaci každé zóny je možno simulovat například oslunění pouze z jedné strany vozidla apod.



Obr. 53 - Topná rohož EKOHEAT WAY 300 (12)

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Pro lepší představu o zapojení jednotlivých smyček a regulátorů je na uvedeno blokové schéma zapojení vytápění.



Obr. 54 - Blokové schéma zapojení regulace vytápění

8. Zapojení prvků zkušebního zařízení

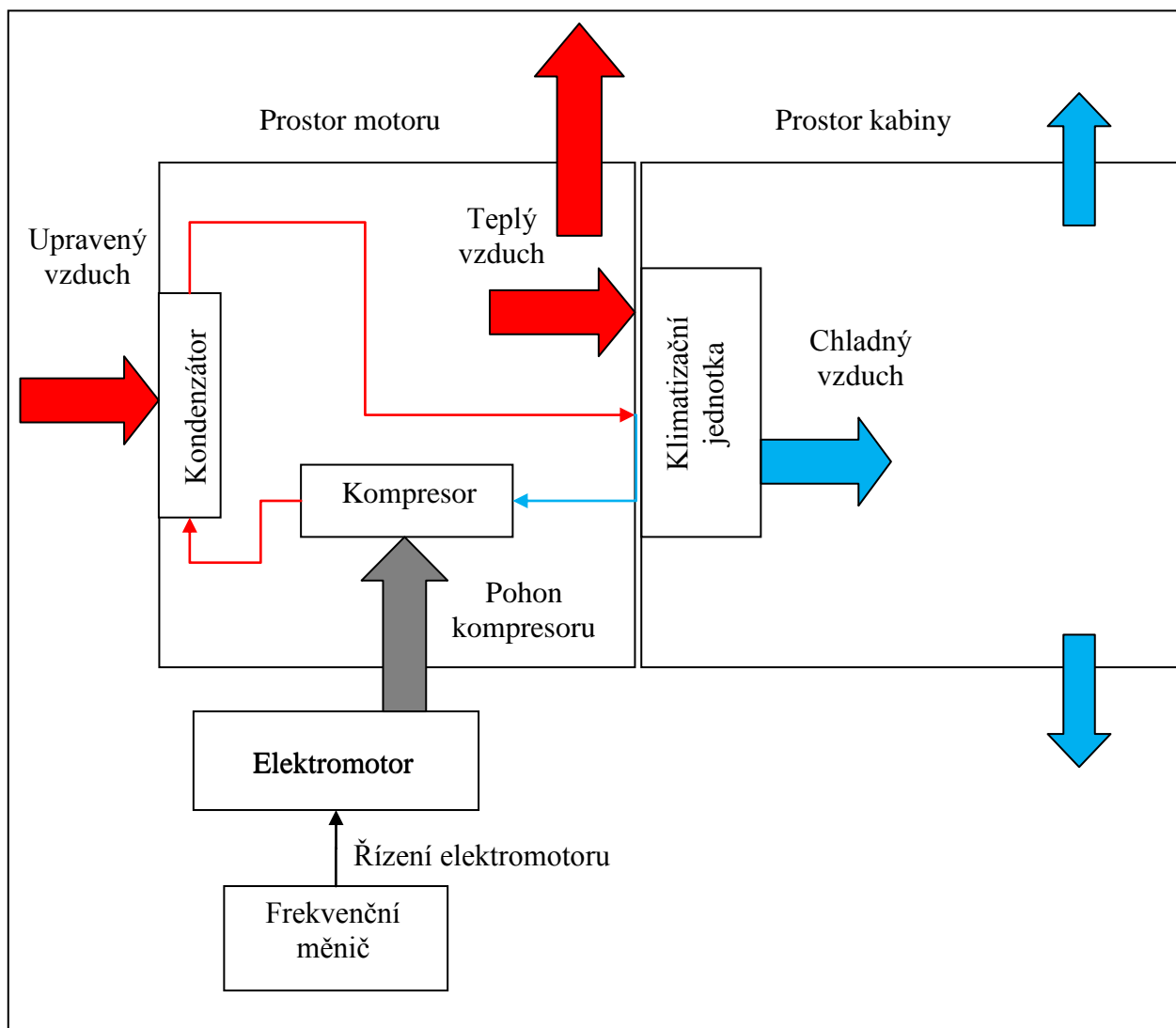
Ve zkušebním zařízení se nachází komponenty které je potřeba propojit, jedná se hlavně o jednotlivé části chladivového okruhu klimatizačního zařízení. Pro propojení jednotlivých komponent jako kompresor, výparník a kondenzátor je doručeno provést propojení pomocí originálního potrubí. Tím by měly být zajištěny parametry shodné s reálným provozem v automobilu. Pokud nebude možno použít originální potrubí, je nutno použít potrubí, které je vhodné pro použití v klimatizační technice. Pro spojování je pak doporučeno pájení a to z důvodu těsnosti těchto spojů. Pro plnění je dovoleno použít pouze chladivo shodné s typem předepsaným výrobcem automobilu a naplnit okruh předepsaným množstvím tohoto chladiva. Tato podmínka nemusí být splněna pokud bude prováděno měření chování chladivového okruhu při malém množství chladiva, případně jiných nestandardních okolnostech.

Dále je potřeba zapojit přívod upraveného vzduchu na kondenzátor. Z hlediska možného přesunu zařízení je vhodné využít k propojení ohebné hadice určené pro přívod vzduchu v dostatečném průměru, tak aby došlo k přísunu vzduchu na celou plochu kondenzátoru. Opět zde platí výjimka při testování nestandardních podmínek provozu. Z ekonomického hlediska je vhodné také umístit v okolí zkušebního zařízení odsávací potrubí. Přiváděný vzduch totiž volně uniká do okolí zkušebního zařízení. Při jeho zpětném nasávání je tedy možno ho využít a snížit tak energetické nároky zařízení pro úpravu vzduchu.

Dalším prvkem vyžadujícím zapojení je elektromotor sloužící pro pohon kompresoru. Ten je napájen z již zmiňovaného frekvenčního měniče Siemens Sinamics G120. Pro propojení frekvenčního měniče s elektromotorem a také se zdrojem napětí je potřeba použít kabely dostačující na provoz za daného napětí a proudů.

Pro správnou funkci je také potřeba zapojit řídicí elektroniku zkoušené klimatizační jednotky na zdroj napětí a také přivést napětí na elektromagnetickou spojku kompresoru. Obě součásti jsou konstruovány na napětí 12 V, je tedy možné napájet je z autobaterie nebo ze sítě pomocí měniče napětí z 230 V na 12 V.

Posledním zapojovaným prvkem je elektrické vytápění. Zde je potřeba nejdříve provést připojení topných rohoží dle jednotlivých úseků do regulátorů napětí a ty pak připojit kde zdroji napětí. Stejně jako u zapojení frekvenčního měniče platí že i regulátory musí být připojeny ke zdroji napětí dostatečně dimenzovanými vodiči. Schéma celého zkušebního zařízení je na Obr. 55.



Obr. 55 - Schéma zkušebního zařízení

9. Měření a regulace

9.1. Měření

Pro měření na zkušebním zařízení je vhodné použít měřicí prvky, které umožňují propojení v PC. Tím se docílí uživatelského komfortu a také snazšího vyhodnocování výsledků oproti umístění měřících prvků bez výstupu do PC. Navržená místa měření i způsoby měření byly uvažovány pro získání základních údajů o soustavě. Při specifickém výzkumu na zařízení je nutno osadit dodatečné měřicí nebo regulační prvky podle požadavků pro dané měření.

Pro základní měření je chladivový okruh osazen na vysokotlakém i nízkotlakém ventilu měřením tlaku. Dále jsou na chladivovém potrubí umístěny kontaktní snímače teploty. Ty je nutno dobře tepelně zaizolovat aby nedocházelo k jejich ovlivnění okolním vzduchem. Pokud je znám tlak v dané části chladivového okruhu a také teplota chladiva v této části dá se určit na základě parametrů daného chladiva jeho přehřátí. Na straně vysokého tlaku v chladivovém okruhu za kondenzátorem bude umístěno průhledítko. To slouží k vizuální kontrole zda se v kapalném chladivu nenachází bublinky páry, případně jiné nečistoty. Některá průhledítka mají také možnost kontroly obsahu vlhkosti v kapalném chladivu zbarvením středu.

Pro měření okruhu vzduchu jsou umístěny teplotní snímače na následujících místech:

- vstup vzduchu do klimatické jednotky
- vnitřní prostor kabiny

Při tomto zapojení snímá první teplotní senzor teplotu vzduchu vstupujícího do klimatické jednotky a druhý teplotu vzduchu v klimatizovaném prostoru. Dále na vstupu do klimatické jednotky bude umístěno snímání průtoku vzduchu. Z průtoku a známého ochlazení vzduchu se může spočítat například teplo odebrané vzduchu přičemž po zjištění aktuálního výkonu elektromotoru můžeme dopočítat i COP.

Pro možnost regulace topných rohoží je na kabelech mezi topnými rohožemi a regulátorem napětí obsažen měřič spotřeby el. energie. Díky téměř 100% účinnosti topných rohoží lze totiž předpokládat že veškerý příkon dodaný do topné rohože přejde na teplo. Díky měřiči spotřeby tak máme neustálý přehled o aktuálním výkonu jednotlivých topných rohoží.

9.2. Regulace

Pro regulování celého zkušebního zařízení je využito několik regulačních prvků. Množství regulovaných zařízení se však může měnit dle potřeb aktuálně prováděného výzkumu.

O nejsložitější regulaci se stará samotná jednotka klimatizace. Pro tuto regulaci je použito originální řízení dodávané výrobcem vozu k dané klimatické jednotce. Může tak být pouze manuální, kde se nastaví požadovaná teplota přiváděného vzduchu nebo plně automatická, která si díky vlastním teplotním snímačům hlídá teplotu uvnitř kabiny vozu a upravuje podle toho teplotu přiváděného vzduchu.

Další nezbytnou regulací je regulace elektromotoru. O tu se stará frekvenční měnič Siemens Sinamics G120 připojený k PC. Díky němu je možno měnit otáčky elektromotoru a tím i regulovat výkon kompresoru. Touto regulací se dá například simulovat pohyb vozidla po městě, kdy dochází k neustálému klesání a stoupání otáček v důsledku zastavování a rozjezdů na křižovatkách.

Posledním regulačním prvkem je triakový regulátor napětí TRN-5A od fy. Bel. Ten zajišťuje regulaci napětí na topných rohožích. Tím dochází ke změně výkonu těchto rohoží

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

dle potřeby aktuálního měření. Regulace na zvolením regulátoru napětí je prováděno otáčením potenciometru umístěného na regulátoru. Pro komfortnější regulaci ropných rohoží je možno použít i frekvenční měnič se změnou pouze napětí bez změny frekvence.



Obr. 56 - Frekvenční měnič Siemens Sinamics G120 (13)

10. Návrh jednoduché měřicí úlohy

Tato kapitola se zabývá návrhem jednoduchého měření pro zjištění COP klimatizačního zařízení.

Před měřením provedeme kontrolu správného zapojení všech komponent a nepoškozenost celé soustavy. Dále pokud nejsou umístěna tak umístíme čidla pro měření teploty na vstup vzduchu do klimatizační jednotky a do prostoru kabiny v klimatizační jednotce. Také na vstup vzduchu umístíme měření průtoku vzduchu.

Poté můžeme zařízení spustit. Na regulaci klimatizace v případě manuální regulace nastavíme nejchladnější vzduch, tzn. směšovací klapka je uzavřena a do kabiny proudí veškerý vzduch přes výparník. Na frekvenčním měniči nastavíme požadované otáčky elektromotoru pro které chceme měřit COP. Dále začneme na kondenzátor přivádět upravený vzduch na požadované parametry. Pro toto měření není nutné spouštět vytápění kabiny.

Po ustálení teploty uvnitř kabiny můžeme přistoupit k zapsání dat a vyhodnocení výsledků. Zapisované údaje budou následující.

- teplota vzduchu na vstupu do klimatizačního zařízení
- teplota vzduchu v kabině
- průtok vzduchu na vstupu do klimatizačního zařízení
- příkon elektromotoru

Z rozdílu teplot na vstupu do klimatizačního zařízení a v kabině a z průtoku vzduchu vypočteme teplo odebrané vzduchu podle rovnice 19.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_v \cdot c_v \cdot (t_{vk} - t_{vp}) \quad \text{Rovnice 19}$$

Kde:

\dot{Q}_c - odebrané teplo [W]

\dot{m}_v - hmotnostní průtok vzduchu na vstupu do klimatizačního zařízení [kg/s]

c_v - měrná tepelná kapacita přiváděného vzduchu [J/kg·K]

t_{vk} - teplota vzduchu v kabině [°C]

t_{vp} - teplota vzduchu přiváděného do klimatizačního zařízení [°C]

Dále spočítáme výkon dodávaný elektromotorem kompresoru. Předpokládáme že řemenový převod přenesení celý výkon. Pak tedy výkon dodávaný kompresoru spočteme dle rovnice 20.

$$P_k = \eta_{em} \cdot P_{em} \quad \text{Rovnice 20}$$

Kde:

P_k - výkon dodávaný kompresoru [W]

η_{em} - účinnost elektromotoru (pro zvolený motor je $\eta_{em} = 0,85$) [-]

P_{em} - příkon elektromotoru odečtený z frekvenčního měniče nebo připojeného PC

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Posledním krokem je výpočet samotného COP. To se vypočítá dle rovnice 21.

$$COP = \frac{|\dot{Q}_c|}{P_k}$$

Rovnice 21

Kde:

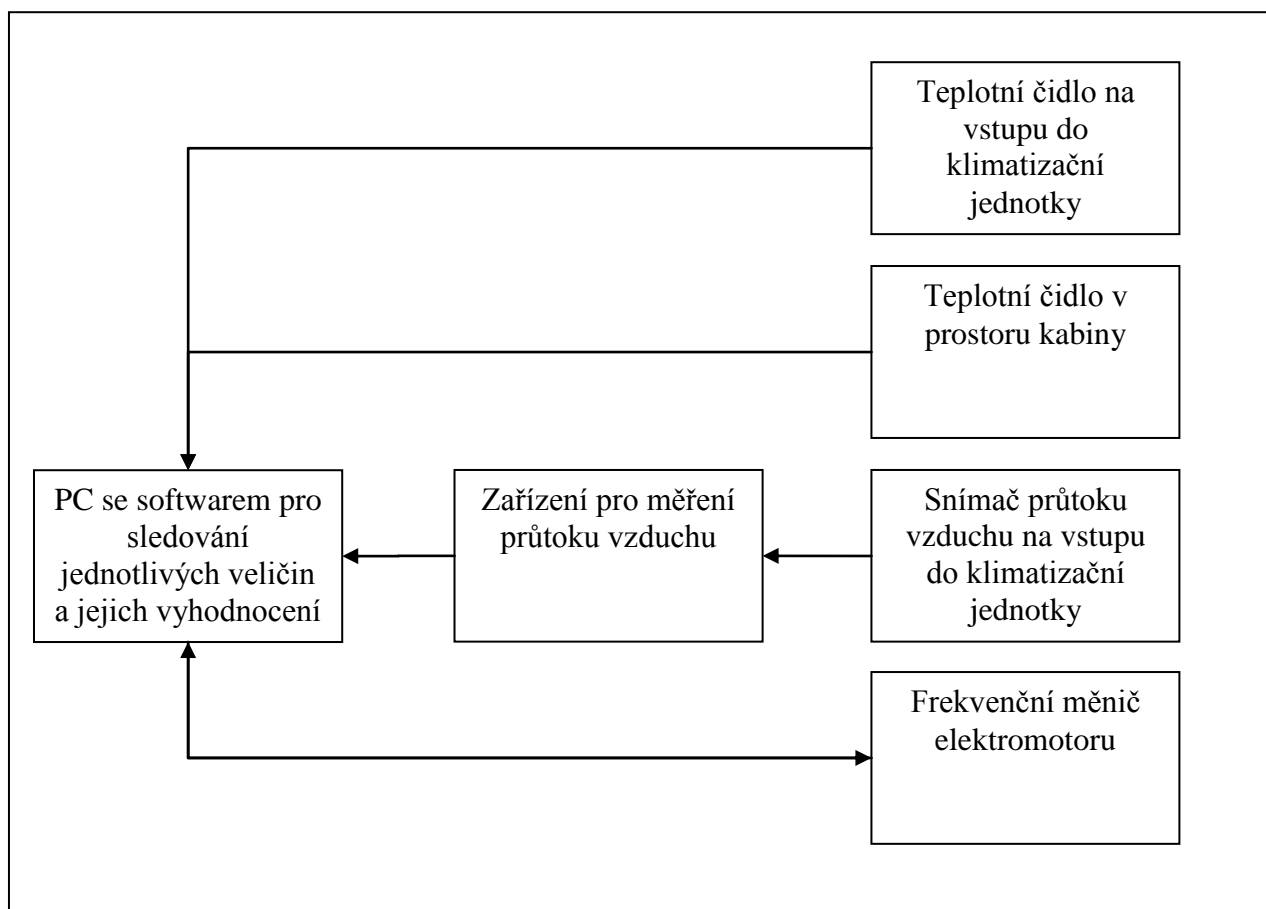
COP - chladicí faktor [-]

\dot{Q}_c - odebrané teplo [W]

P_k - výkon dodávaný kompresoru [W]

Tímto jednoduchým měřením lze získat hodnoty COP pro různé otáčky motoru a tedy i kompresoru. Z těchto hodnot lze poté sestavit graf a porovnat ho například s grafem udávaným výrobcem zda jím udávané hodnoty jsou reálné.

Na navrženém zkušebním zařízení je možné provádět daleko větší škálu měření než pouze zjišťování COP. Pokud se do prostoru kabiny například nainstalují sedačky a umístí tepelný manekýn je možné měřit tepelnou pohodu uvnitř automobilu. Dále se dají měřit obrazy teplotního pole umístěním většího množství čidel v prostoru kabiny.



Obr. 57 - Blokové schéma zapojení snímačů pro danou úlohu

11. Závěr

Zadáním této práce byl návrh zkušebního zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací. Tohoto cíle bylo dosaženo a v rámci práce bylo navrženo toto testovací zařízení. Hlavní částí návrhu byla konstrukční část, ale ne o moc menší měrou zde byly zastoupeny i výpočty spojené s návrhem. Bylo navrženo i základní osazení měřícími a regulačními přístroji tak aby toto zařízení bez dalších úprav bylo schopno provozu a bylo na něm možno měřit jednoduchá měření. Jedno z těchto jednodušších měření je v závěru práce navrženo a je zde popsán i postup pro toto měření.

Hlavním přínosem tohoto zařízení by měla být je univerzálnost. Měření klimatizačních zařízení lze sice provádět přímo ve vozidle ale to má několik zásadních nevýhod. Zaprvé jsou to problémy z hlediska provozního. Do motoru automobilu je potřeba doplňovat palivo, v navrženém zařízení je kompresor poháněn elektromotorem. S tím souvisí i další nevýhoda a to nutnost odvodu spalín, zde opět vyřešeno elektromotorem. Dále u reálného vozidla nelze měnit jeho dispozici, případně pouze vložením přepážek s nimiž může být problém. Tím se omezuje možnost měření daného klimatizačního zařízení pouze na typ vozidla, do kterého ho nainstaloval výrobce. U tohoto zkušebního zařízení je možno měnit dispozici téměř libovolně a změnit tak v podstatě umístění klimatizace z malého městského automobilu do rodinného vozu typu kombi. Další výhodou je mobilita celého zařízení. Díky využití rozebíratelných spojů lze celé zařízení rozložit a dostat ho tak do prostor kam by se normálně nedostalo, případně by bylo s jeho demontáží a zpětnou montáží daleko více problémů. Při umístění je potřeba počítat s dostatečnou únosností podkladu neboť váha celého zařízení včetně elektromotoru se pohybuje okolo půl tuny.

Vzhledem k tomu že se jednalo o návrh zařízení nebyly vytvořeny výrobní výkresy ale pouze 3D modely v programu SolidWorks a dále byl vytvořen jeden výkres se základními rozměry celého zařízení. Pokud by bylo zařízení vyráběno je nutné vyrobit přesné výrobní výkresy. Vzhledem k váze celého zařízení by také bylo vhodné provést statický výpočet nosné konstrukce, tedy rámu.

Pro další práci se nabízí zpracování dalších možných měřících postupů pro toto zařízení. Pro možnost srovnání by také bylo možné provést CFD simulaci chování zkušebního zařízení a porovnat ji s CFD modelem chování kabiny skutečného vozidla. Dále by bylo možné provést měření difference tlaku v kabině vozu oproti venkovnímu tlaku za jízdy automobilu a tuto diferenci porovnat s diferencí vznikající ve zkušebním zařízení. Pokud by byly tyto difference rozdílné bylo by vhodné doplnit zkušební zařízení o ventilátor, řízený na základě difference tlaku uvnitř zkušebního zařízení a vnějšího tlaku, tak aby vyrovnával tuto tlakovou diferenci na hodnotu odpovídající provozu skutečného automobilu.

12. Použitá literatura

1. [Online] obrázek převzat z:
http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/R134a/ph_r134a.gif.
2. **Škoda Auto**. *Návod k obsluze Octavia*. 2007.
3. Climate Control air conditioning systems. *ZigWheels*. [Online] Times Internet Limited, 29. Červenec 2011. [Citace: 16. Únor 2013.] <http://www.zigwheels.com/news-features/auto-insight/climate-control-air-conditioning-systems/9083/1>.
4. [Online] obrázek převzat z: http://www.sanden.com/images/SDV_cutaway_2.gif.
5. spirálové kompresory Ecolife super. *Kompresory Kartous*. [Online] 2013. [Citace: 16. Únor 2013.] <http://www.kompresory-kartous.cz/kompresory-ecolife-super>.
6. **Daly, Steven**. *Automotive Air-Conditioning and Climate Control Systems*. místo neznámé : Elsevier Ltd., 2006. ISBN-13: 978-0-7506-6955-9.
7. **ČSN 73 0548**. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1985.
8. **ČSN 73 0540**. *Tepelná ochrana budov*. Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
9. [Online] obrázek převzat z: <http://www.sem.co.uk/products/asynchronous-spindle-motors/asm/asm-260-u/>.
10. [Online] obrázek převzat z:
http://www.sanden.com/originals/images/SD7V16_Performance.pdf.
11. [Online] obrázek převzat z:
<http://www.dosting.cz/article.asp?nDepartmentID=56&nArticleID=207&nLanguageID=1>.
12. [Online] obrázek převzat z:
http://www.ekotermpraha.cz/tmp/detailmax/937_1_ekoheat_way_300_3m2_900w_topna_roh_oz_na_venkovni_plochy.jpg.
13. **Bezděk, Lukáš**. *Metodika zkoušení automobilových klimatizací*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. str. 46. Vedoucí bakalářské práce doc. Inf. Josef Štetina, Ph.D..

13. Seznam použitých veličin

a - sluneční azimut [$^{\circ}$]
 a_c - sluneční azimut určovaný od jihu [$^{\circ}$]
 c_0 - korekční součinitel [-]
 c_v - měrná tepelná kapacita přiváděného vzduchu [J/kg·K]
COP – chladicí faktor [-]
 d_i – tloušťka daného materiálu v konstrukci [m]
 D - číslo dne v měsíci [-]
 h - výška slunce nad obzorem [$^{\circ}$]
 $i_{dětí}$ - celkový počet dětí [-]
 $i_{mužů}$ - celkový počet mužů [-]
 i_l - celkový počet osob [-]
 $i_{žen}$ - celkový počet žen [-]
 I_0 - intenzita sluneční radiace na hranicích atmosféry [W/m²]
 I_d - intenzita difuzní sluneční radiace [W/m²]
 $I_{d,ok}$ - intenzita difuzní sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m²]
 I_D - intenzita přímé sluneční radiace na libovolně orientovanou plochu [W/m²]
 I_{Dk} - intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k slunečním paprskům [W/m²]
 $I_{D,ok}$ - intenzita přímé sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m²]
 I_N - Jmenovitý proud [A]
 I_{ok} - celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem [W/m²]
 i_p - entalpie páry [kJ/kg]
 m - hmotnost [kg]
 m_v - objemový průtok vzduchu [m³/s]
 \dot{m}_v - hmotnostní průtok vzduchu na vstupu do klimatizačního zařízení [kg/s]
 m_{wp} - množství syté páry o daném stavu [kg/h]
 m_{wv1} - množství vody pro vlhčení v 1. stupni [kg/h]
 m_{wv2} - množství vody pro vlhčení v 2. stupni [kg/h]
 M - číslo měsíce [-]
 M_N - Jmenovitý kroutící moment [Nm]
 n_{max} - maximální otáčky [min⁻¹]
 n_N - jmenovité otáčky [min⁻¹]
 P_{em} - příkon elektromotoru odečtený z frekvenčního měniče nebo připojeného PC
 P_k - výkon dodávaný kompresoru [W]
 P_N - jmenovitý výkon [W]
 Q_c - produkce tepla od osoby [W]
 \dot{Q}_c - odebrané teplo [W]
 \dot{Q}_l - celková produkce tepla od všech osob [W]
 Q_o - výkon ohřívače [W]
 Q_{o1} - výkon ohřívače 1. stupně [W]
 Q_{o2} - výkon ohřívače 2. stupně [W]
 $\dot{Q}_{p,ok}$ - tepelný zisk prostupem okny [W]
 $\dot{Q}_{r,ok}$ - tepelný zisk sluneční radiací okny [W]
 R_{se} – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [(m²·K)/W]
 R_{si} – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m²·K)/W]
 s - stínící součinitel [-]

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

S_o - plocha oken [m^2]
 S_{ok} - plocha oken [m^2]
 S_{os} - osluněná plocha oken [m^2]
 t_d - propustnost standardního okna pro difuzní záření [-]
 t_e - teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}C$]
 $t_{e,p}$ - teplota vzduchu na vstupu do zařízení pro úpravu vzduchu [$^{\circ}C$]
 t_i - teplota vzduchu v prostoru kabiny vozidla [$^{\circ}C$]
 t_p - teplota vzduchu na výstupu [$^{\circ}C$]
 $t_{p,p}$ - teplota páry [$^{\circ}C$]
 t_{vk} - teplota vzduchu v kabině [$^{\circ}C$]
 t_{vp} - teplota vzduchu přiváděného do klimatického zařízení [$^{\circ}C$]
 t_D - propustnost standardního okna pro přímé sluneční záření [-]
 U_{ok} - součinitel prostupu tepla okny [W/m^2K]
 U_p - součinitel prostupu tepla panelu [$W/(m^2K)$]
 U_N - jmenovité napětí [V]
 z - součinitel znečištění atmosféry [-]
 α - úhel mezi plochou a vodorovnou rovinou [$^{\circ}$]
 γ - azimut plochy [$^{\circ}$]
 δ - sluneční deklinace [$^{\circ}$]
 η_{em} - účinnost elektromotoru [-]
 θ - úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem dopadajících paprsků [$^{\circ}$]
 λ - součinitel tepelné vodivosti [$W/(mK)$]
 λ_i - součinitel tepelné vodivosti daného materiálu [$W/(mK)$]
 ρ_p - hustota panelu [kg/m^3]
 τ - hodina v SEČ pro kterou je prováděn výpočet [h]
 φ_e - relativní vlhkost vzduchu na vstupu do zařízení pro úpravu vzduchu [-]
 φ_p - relativní vlhkost vzduchu na výstupu [-]
 ψ - zemská šířka místa pro který je prováděn výpočet [$^{\circ}$]

14. Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma chladivového okruhu (tvorba autora)	18
Obr. 2 - p-h diagram chladiva R134a, zdroj (1) + tvorba autora	19
Obr. 3 - Konstrukční celek klimatizace obsahující výparník, směšování, ventilátor, filtr a další komponenty (foto archiv autora)	20
Obr. 4 - Umístění klimatizační jednotky za palubní deskou - pohled na ventilátor (foto archiv autora)	20
Obr. 5 - Umístění výustek v palubní desce vozu (2)	21
Obr. 6 - Rozdělení prostoru kabiny na dvě zóny (3)	22
Obr. 7 - Příklad lamelového výměníku s zploštělými trubkami a rozdělovačem a sběračem na jedné straně (foto archiv autora)	24
Obr. 8 - Axiální pístový kompresor s kyvnou deskou (4)	26
Obr. 9 - Zobrazení jednotlivých fází cyklu ve spirálovém kompresoru (5)	27
Obr. 10 - Umístění kondenzátoru za čelní maskou vozu Škoda Octavia II, na pravé straně se nachází vysoušeč chladiva (foto archiv autora)	27
Obr. 11 - Termostatický expanzní ventil s vnitřním porovnáváním (6)	28
Obr. 12 - Termostatický expanzní ventil s vnitřním porovnáváním (foto archiv autora)	29
Obr. 13 - Schéma simulace z programu TRNSYS	42
Obr. 14 - Maximální a průměrné tepelné zátěže v jednotlivých měsících	43
Obr. 15 - h-x diagram úpravy vzduchu z programu Vlhký vzduch 3.0 při vlhčení parou	46
Obr. 16 - h-x diagram úpravy vzduchu z programu Vlhký vzduch 3.0 při vlhčení vodou	48
Obr. 17 - Elektromotor ASM 260U (9)	49
Obr. 18 - Graf výkonu, příkonu a COP pro kompresor Sanden SD7V6 (10)	50
Obr. 19 - Řez jednou z variant profilu	51
Obr. 20 - Matice pro vložení do drážky	52
Obr. 21 - Rohový spojovací profil	52
Obr. 22 - Příklad spojení profilů na koncích	53
Obr. 23 - Příklad spojení profilů přes drážky	53
Obr. 24 - Kloubová spojka	54
Obr. 25 - Koncová spojka, zjednodušený model	54
Obr. 26 - Sestava pojezdového kola s integrovanou nohou	55
Obr. 27 - Základní rozměry a tvar panelu THERMOPARETI TPL/C-ST (11)	56
Obr. 28 - Řez nástavcem na hřídel elektromotoru	56
Obr. 29 - Řez nástavcem (černá barva), nasazeným na hřídeli elektromotoru a s nasazenou řemenicí	57
Obr. 30 - Uchycovací plech kompresoru	57
Obr. 31 - Kompresor uchycený k profilům - pohled zepředu	58
Obr. 32 - Kompresor uchycený k profilům - pohled zezadu	58
Obr. 33 - Izometrický pohled na rám tvořící prostor kabiny	59
Obr. 34 - Izometrický pohled na rám tvořící prostor motoru	60
Obr. 35 - Izometrický pohled na celý rám zkušebního zařízení	61
Obr. 36 - Uchycení kola	62
Obr. 37 - Pohled na rám s umístěnými koly	63
Obr. 38 - Rám elektromotoru	64
Obr. 39 - Rám elektromotoru s motorem a pojezdovými koly	64
Obr. 40 - Rám pro uchycení kompresoru vložený do rámu prostoru motoru	65
Obr. 41 - Kompresor uchycený v rámu	65
Obr. 42 - Levé uchycení držáku modulů po směru jízdy (foto archiv autora)	66

Zkušební zařízení pro zkoušení automobilových klimatizací

Obr. 43 - Právě uchycení držáku modulů po směru jízdy (foto archiv autora).....	66
Obr. 44 - Levý držák pro uchycení držáku modulů připojený na nosný profil.....	67
Obr. 45 - Právý držák pro uchycení držáku modulů připojený na nosný profil	67
Obr. 46 - Pohled na pravý i levý držák a umístění jejich nosných profilů v rámu kabiny	68
Obr. 47 - Podélný řez kompletně opláštěným zkušebním zařízením včetně všech dalších prvků	69
Obr. 48 - Příčný řez kompletně opláštěným zkušebním zařízením při pohledu zezadu	69
Obr. 49 - Panel pro umístění kondenzátoru	70
Obr. 50 - Panel zasazený v rámu a s přišroubovaným kondenzátorem	71
Obr. 51 - Panel dělicí prostor motoru a prostor kabiny s otvory pro prostup vzduchu a chladičového potrubí.....	72
Obr. 52 - Dělicí panel v sestavě zkušebního zařízení.	72
Obr. 53 - Topná rohož EKOHEAT WAY 300 (12).....	73
Obr. 54 - Blokové schéma zapojení regulace vytápění.....	74
Obr. 55 - Frekvenční měnič Siemens Sinamics G120 (13).....	78
Obr. 56 - Blokové schéma zapojení snímačů pro danou úlohu	80

15. Seznam rovnic

Rovnice 1.....	31
Rovnice 2.....	31
Rovnice 3.....	32
Rovnice 4.....	32
Rovnice 5.....	33
Rovnice 6.....	33
Rovnice 7.....	33
Rovnice 8.....	33
Rovnice 9.....	34
Rovnice 10.....	34
Rovnice 11.....	35
Rovnice 12.....	35
Rovnice 13.....	36
Rovnice 14.....	36
Rovnice 15.....	36
Rovnice 16.....	37
Rovnice 17.....	37
Rovnice 18.....	38
Rovnice 19.....	79
Rovnice 20.....	79
Rovnice 21.....	80

16. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tepelné vlastnosti použitých materiálů.....	38
Tabulka 2 - Hodnoty odporu při přestupu tepla (8)	38
Tabulka 3 - Složení levého boku a jeho součinitel prostupu tepla	39
Tabulka 4 - Složení pravého boku a jeho součinitel prostupu tepla.....	39
Tabulka 5 - Složení oblasti čelního skla a její součinitel prostupu tepla.....	39
Tabulka 6 - Složení oblasti zadního skla a její součinitel prostupu tepla.....	39
Tabulka 7 - Složení střechy a její součinitel prostupu tepla	40
Tabulka 8 - Složení podlahy a její součinitel prostupu tepla.....	40
Tabulka 9 - Složení motorové přepážky a její součinitel prostupu tepla	40
Tabulka 10 - Hodnoty tepelného zisku od vnitřních zdrojů	41
Tabulka 11 - Hodnoty tepelných zisků od vnějších zdrojů v průběhu dne	41
Tabulka 12 - Průměrné a maximální hodnoty tepelné zátěže v jednotlivých měsících roku ...	42
Tabulka 13 - Plochy a výkony topné rohože	73

17. Seznam příloh

Příloha 1 - Rozměry vozu

Příloha 2 - Výpočet tepelné zátěže

Příloha 3 - Specifikace elektromotoru ASM 260U

Příloha 4 - Srovnávací tabulka frekvenčních měničů Siemens Sinamics

Příloha 5 - Seznam materiálu

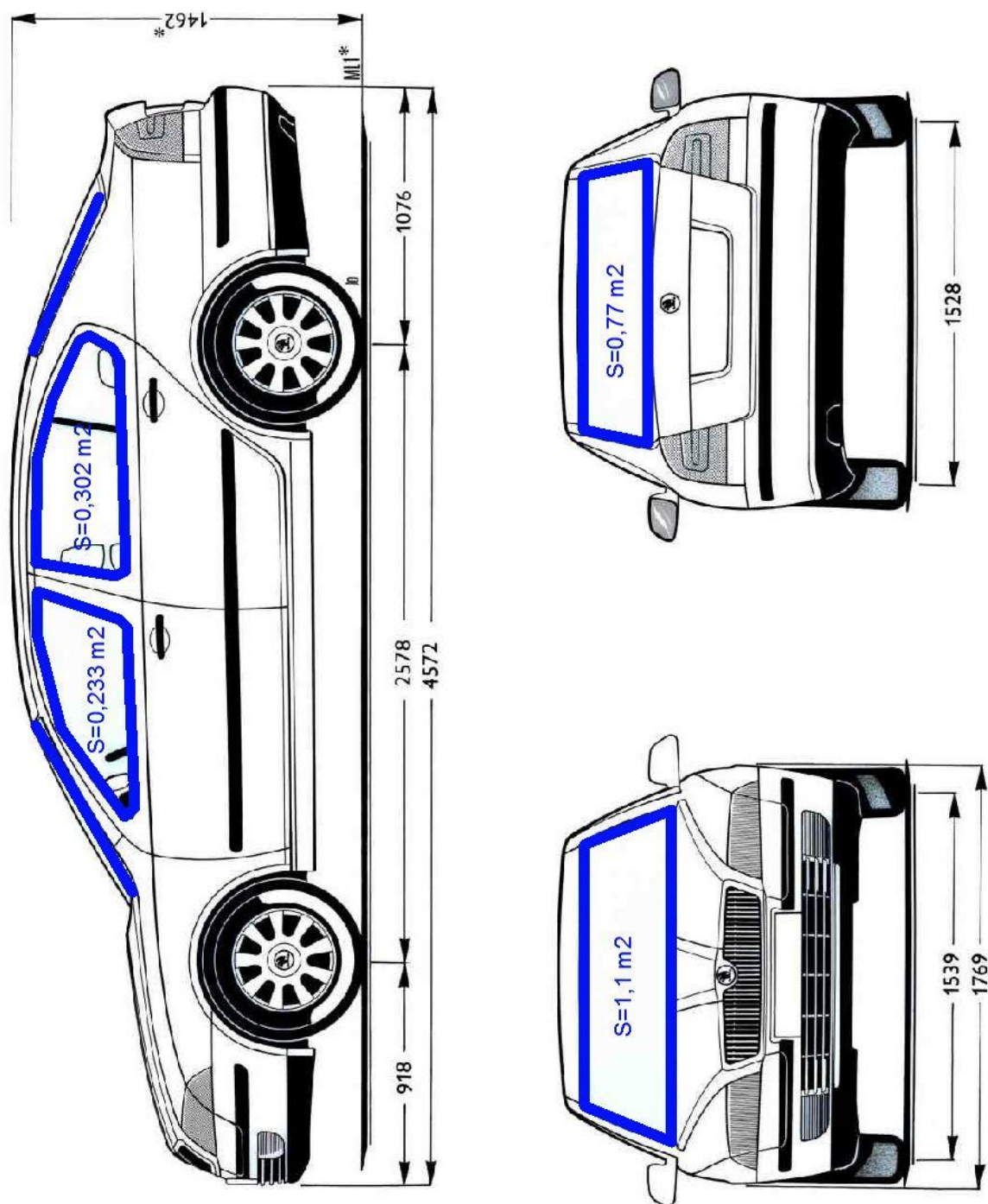
Příloha 6 - Výkres základního rámu (volně vložená příloha formátu A3)

Příloha 7 - Sestava (volně vložená příloha formátu A3)

Příloha 8 - Pohledy sestavy (volně vložená příloha formátu A3)

Příloha 9 - Řez zkušebním zařízením (volně vložená příloha formátu A3)

Příloha 1 - Rozměry vozu



(podkladový obrázek převzat z <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=428>)

Příloha 2 - Výpočet tepelné zátěže

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - levý bok																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny											Zisky prostupem	
		t_e	$Q_{p,ok}$	h	a	θ	I_{Dk}	I_d	I_D	t_D	$I_{d,ok}$	$I_{D,ok}$	I_{ok}	$Q_{r,ok}$	$Q_{prostup}$	Q_{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	-27,6	0,0	125,7	35,7	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,23136	-30,8
5	6	16,9	-25,4	6,3	114,3	25,1	470,2	24,6	425,8	0,9	20,9	369,9	390,8	179,4	-2,97432	151,0
6	7	18,1	-21,6	15,4	103,4	20,4	801,5	50,6	751,5	0,9	43,0	653,4	696,4	319,7	-2,53368	295,5
7	8	19,5	-17,2	25,0	92,4	25,1	941,3	74,3	852,5	0,9	63,1	740,4	803,6	368,8	-2,0196	349,6
8	9	21,2	-11,9	34,6	99,5	35,7	1015,6	95,6	824,7	0,9	81,3	710,4	791,7	363,4	-1,39536	350,1
9	10	23	-6,3	43,8	113,2	48,5	1059,0	113,6	702,1	0,8	96,6	583,2	679,8	312,0	-0,7344	305,0
10	11	24,8	-0,6	52,0	130,4	62,0	1084,6	127,3	508,5	0,7	108,2	373,6	481,9	221,2	-0,07344	220,5
11	12	26,5	4,7	58,1	152,7	76,0	1098,3	135,9	266,5	0,5	115,5	132,8	248,3	114,0	0,5508	119,2
12	13	27,9	9,1	60,4	180,0	90,0	1102,6	138,8	0,0	0,0	118,0	0,0	118,0	54,2	1,06488	64,3
13	14	29,1	12,8	58,1	207,3	104,0	1098,3	135,9	0,0	0,9	115,5	0,0	115,5	53,0	1,50552	67,4
14	15	29,8	15,0	52,0	229,6	118,0	1084,6	127,3	0,0	2,5	108,2	0,0	108,2	49,7	1,76256	66,5
15	16	30	15,7	43,8	246,8	131,5	1059,0	113,6	0,0	4,9	96,6	0,0	96,6	44,3	1,836	61,8
16	17	29,8	15,0	34,6	260,5	144,3	1015,6	95,6	0,0	8,3	81,3	0,0	81,3	37,3	1,76256	54,1
17	18	29,1	12,8	25,0	267,6	154,9	941,3	74,3	0,0	12,2	63,1	0,0	63,1	29,0	1,50552	43,3
18	19	27,9	9,1	15,4	256,6	159,7	801,5	50,6	0,0	14,4	43,0	0,0	43,0	19,7	1,06488	29,9
19	20	26,5	4,7	6,3	245,7	154,9	470,2	24,6	0,0	12,2	20,9	0,0	20,9	9,6	0,5508	14,9
20	21	24,8	-0,6	0,0	234,3	144,3	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,07344	-0,7
α	γ	S_{ok}	Nadmořská výška		z	t_d	c_0	S	U_{kar}	t_i	S_{kar}	U_{ok}				
[°]	[°]	[m ²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[°C]		[W/m ² K]				
90	90	0,54	1000		2	0,85	0,85	1	0,17	25	2,16	5,8				

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - pravý bok																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny											Zisky prostupem	
		t_e	$Q_{p,ok}$	h	a	θ	I_{Dk}	I_d	I_D	t_D	$I_{d,ok}$	$I_{D,ok}$	I_{ok}	$Q_{r,ok}$	$Q_{prostup}$	Q_{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[-]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	-27,6	0,0	125,7	144,3	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,23136	-30,8
5	6	16,9	-25,4	6,3	114,3	154,9	470,2	24,6	0,0	12,2	20,9	0,0	20,9	9,6	-2,97432	-18,7
6	7	18,1	-21,6	15,4	103,4	159,7	801,5	50,6	0,0	14,4	43,0	0,0	43,0	19,7	-2,53368	-4,4
7	8	19,5	-17,2	25,0	92,4	154,9	941,3	74,3	0,0	12,2	63,1	0,0	63,1	29,0	-2,0196	9,7
8	9	21,2	-11,9	34,6	99,5	144,3	1015,6	95,6	0,0	8,3	81,3	0,0	81,3	37,3	-1,39536	24,0
9	10	23	-6,3	43,8	113,2	131,5	1059,0	113,6	0,0	4,9	96,6	0,0	96,6	44,3	-0,7344	37,3
10	11	24,8	-0,6	52,0	130,4	118,0	1084,6	127,3	0,0	2,5	108,2	0,0	108,2	49,7	-0,07344	49,0
11	12	26,5	4,7	58,1	152,7	104,0	1098,3	135,9	0,0	0,9	115,5	0,0	115,5	53,0	0,5508	58,3
12	13	27,9	9,1	60,4	180,0	90,0	1102,6	138,8	0,0	0,0	118,0	0,0	118,0	54,2	1,06488	64,3
13	14	29,1	12,8	58,1	207,3	76,0	1098,3	135,9	266,5	0,5	115,5	132,8	248,3	114,0	1,50552	128,3
14	15	29,8	15,0	52,0	229,6	62,0	1084,6	127,3	508,5	0,7	108,2	373,6	481,9	221,2	1,76256	238,0
15	16	30	15,7	43,8	246,8	48,5	1059,0	113,6	702,1	0,8	96,6	583,2	679,8	312,0	1,836	329,5
16	17	29,8	15,0	34,6	260,5	35,7	1015,6	95,6	824,7	0,9	81,3	710,4	791,7	363,4	1,76256	380,2
17	18	29,1	12,8	25,0	267,6	25,1	941,3	74,3	852,5	0,9	63,1	740,4	803,6	368,8	1,50552	383,2
18	19	27,9	9,1	15,4	256,6	20,4	801,5	50,6	751,5	0,9	43,0	653,4	696,4	319,7	1,06488	329,8
19	20	26,5	4,7	6,3	245,7	25,1	470,2	24,6	425,8	0,9	20,9	369,9	390,8	179,4	0,5508	184,6
20	21	24,8	-0,6	0,0	234,3	35,7	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,07344	-0,7
α	γ	S_{ok}	Nadmořská výška		z	t_d	c_0	S	U_{kar}	t_i	S_{kar}	U_{ok}				
[°]	[°]	[m²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m²K]	[°C]		[W/m²K]				
90	270	0,54	1000		2	0,85	0,85	1	0,17	25	2,16	5,8				

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - čelní sklo																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny											Zisky prostupem	
		t_e	$Q_{p,ok}$	h	a	θ	I_{Dk}	I_d	I_D	t_D	$I_{d,ok}$	$I_{D,ok}$	I_{ok}	$Q_{r,ok}$	$Q_{prostup}$	Q_{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	-56,1	0,0	125,7	73,0	0,0	0,1	0,0	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	-5,28	-61,4
5	6	16,9	-51,7	6,3	114,3	72,5	470,2	31,3	141,2	0,6	26,6	81,2	107,9	100,8	-4,86	44,3
6	7	18,1	-44,0	15,4	103,4	70,0	801,5	49,0	274,5	0,6	41,6	171,1	212,7	198,9	-4,14	150,7
7	8	19,5	-35,1	25,0	92,4	67,4	941,3	59,8	362,0	0,7	50,8	241,1	291,9	272,9	-3,3	234,5
8	9	21,2	-24,2	34,6	99,5	56,0	1015,6	67,6	568,2	0,8	57,5	448,4	505,9	473,0	-2,28	446,5
9	10	23	-12,8	43,8	113,2	42,1	1059,0	73,4	785,7	0,9	62,4	668,3	730,7	683,2	-1,2	669,2
10	11	24,8	-1,3	52,0	130,4	28,1	1084,6	77,5	956,6	0,9	65,8	829,8	895,6	837,4	-0,12	836,0
11	12	26,5	9,6	58,1	152,7	14,1	1098,3	79,9	1065,3	0,9	67,9	926,7	994,6	930,0	0,9	940,4
12	13	27,9	18,5	60,4	180,0	0,3	1102,6	80,7	1102,6	0,9	68,6	959,2	1027,8	961,0	1,74	981,2
13	14	29,1	26,2	58,1	207,3	14,1	1098,3	79,9	1065,3	0,9	67,9	926,7	994,6	930,0	2,46	958,6
14	15	29,8	30,6	52,0	229,6	28,1	1084,6	77,5	956,6	0,9	65,8	829,8	895,6	837,4	2,88	870,9
15	16	30	31,9	43,8	246,8	42,1	1059,0	73,4	785,7	0,9	62,4	668,3	730,7	683,2	3	718,1
16	17	29,8	30,6	34,6	260,5	56,0	1015,6	67,6	568,2	0,8	57,5	448,4	505,9	473,0	2,88	506,5
17	18	29,1	26,2	25,0	267,6	67,4	941,3	59,8	362,0	0,7	50,8	241,1	291,9	272,9	2,46	301,5
18	19	27,9	18,5	15,4	256,6	70,0	801,5	49,0	274,5	0,6	41,6	171,1	212,7	198,9	1,74	219,2
19	20	26,5	9,6	6,3	245,7	72,5	470,2	31,3	141,2	0,6	26,6	81,2	107,9	100,8	0,9	111,3
20	21	24,8	-1,3	0,0	234,3	73,0	0,0	0,1	0,0	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	-0,12	-1,3
α	γ	S_{ok}	Nadmořská výška		z	t_d	c_0	S	U_{kar}	t_i	S_{kar}	U_{ok}				
[°]	[°]	[m ²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[°C]			[W/m ² K]			
30	180	1,1	1000		2	0,85	0,85	1	0,48	25	1,25	5,8				

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - zadní sklo																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny											Zisky prostupem	
		t_e	$Q_{p,ok}$	h	a	θ	I_{Dk}	I_d	I_D	t_D	$I_{d,ok}$	$I_{D,ok}$	I_{ok}	$Q_{r,ok}$	$Q_{prostup}$	Q_{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	-35,7	0,0	125,7	102,6	0,0	0,1	0,0	0,8	0,1	0,0	0,1	0,0	-3,3792	-39,1
5	6	16,9	-32,9	6,3	114,3	92,9	470,2	31,8	0,0	0,1	27,0	0,0	27,0	16,1	-3,1104	-19,9
6	7	18,1	-28,0	15,4	103,4	80,6	801,5	48,8	130,9	0,4	41,5	48,4	89,9	53,5	-2,6496	22,8
7	8	19,5	-22,3	25,0	92,4	67,8	941,3	58,8	355,4	0,7	49,9	234,2	284,2	169,1	-2,112	144,6
8	9	21,2	-15,4	34,6	99,5	61,6	1015,6	65,6	483,0	0,7	55,8	357,2	413,0	245,8	-1,4592	228,9
9	10	23	-8,1	43,8	113,2	57,6	1059,0	70,6	567,2	0,8	60,0	440,5	500,5	297,8	-0,768	288,9
10	11	24,8	-0,8	52,0	130,4	54,4	1084,6	73,9	630,9	0,8	62,8	504,5	567,4	337,6	-0,0768	336,7
11	12	26,5	6,1	58,1	152,7	52,4	1098,3	75,9	670,6	0,8	64,5	544,6	609,1	362,4	0,576	369,1
12	13	27,9	11,8	60,4	180,0	51,7	1102,6	76,6	684,1	0,8	65,1	558,2	623,3	370,9	1,1136	383,7
13	14	29,1	16,6	58,1	207,3	52,4	1098,3	75,9	670,6	0,8	64,5	544,6	609,1	362,4	1,5744	380,6
14	15	29,8	19,5	52,0	229,6	54,4	1084,6	73,9	630,9	0,8	62,8	504,5	567,4	337,6	1,8432	358,9
15	16	30	20,3	43,8	246,8	57,6	1059,0	70,6	567,2	0,8	60,0	440,5	500,5	297,8	1,92	320,0
16	17	29,8	19,5	34,6	260,5	61,6	1015,6	65,6	483,0	0,7	55,8	357,2	413,0	245,8	1,8432	267,1
17	18	29,1	16,6	25,0	267,6	67,8	941,3	58,8	355,4	0,7	49,9	234,2	284,2	169,1	1,5744	187,3
18	19	27,9	11,8	15,4	256,6	80,6	801,5	48,8	130,9	0,4	41,5	48,4	89,9	53,5	1,1136	66,4
19	20	26,5	6,1	6,3	245,7	92,9	470,2	31,8	0,0	0,1	27,0	0,0	27,0	16,1	0,576	22,8
20	21	24,8	-0,8	0,0	234,3	102,6	0,0	0,1	0,0	0,8	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,0768	-0,9
α	γ	S_{ok}	Nadmořská výška		z	t_d	c_0	S	U_{kar}	t_i	S_{kar}	U_{ok}				
[°]	[°]	[m ²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[°C]		[W/m ² K]				
22	0	0,7	1000		2	0,85	0,85	1	0,48	25	0,8	5,8				

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - střecha																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny											Zisky prostupem	
		t_e	$Q_{p,ok}$	h	a	θ	I_{Dk}	I_d	I_D	t_D	$I_{d,ok}$	$I_{D,ok}$	I_{ok}	$Q_{r,ok}$	$Q_{prostup}$	Q_{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	0,0	0,0	125,7	90,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-59,05328	-59,1
5	6	16,9	0,0	6,3	114,3	83,7	470,2	32,4	51,9	0,3	27,5	13,9	41,4	0,0	-54,35586	-54,4
6	7	18,1	0,0	15,4	103,4	74,6	801,5	48,7	213,5	0,5	41,4	113,5	154,9	0,0	-46,30314	-46,3
7	8	19,5	0,0	25,0	92,4	65,0	941,3	57,5	397,6	0,7	48,9	278,0	326,9	0,0	-36,9083	-36,9
8	9	21,2	0,0	34,6	99,5	55,4	1015,6	63,3	576,6	0,8	53,8	457,4	511,2	0,0	-25,50028	-25,5
9	10	23	0,0	43,8	113,2	46,2	1059,0	67,2	733,4	0,8	57,1	615,5	672,6	0,0	-13,4212	-13,4
10	11	24,8	0,0	52,0	130,4	38,0	1084,6	69,7	855,0	0,9	59,3	734,0	793,2	0,0	-1,34212	-1,3
11	12	26,5	0,0	58,1	152,7	31,9	1098,3	71,2	931,9	0,9	60,5	806,2	866,7	0,0	10,0659	10,1
12	13	27,9	0,0	60,4	180,0	29,7	1102,6	71,7	958,2	0,9	60,9	830,4	891,3	0,0	19,46074	19,5
13	14	29,1	0,0	58,1	207,3	31,9	1098,3	71,2	931,9	0,9	60,5	806,2	866,7	0,0	27,51346	27,5
14	15	29,8	0,0	52,0	229,6	38,0	1084,6	69,7	855,0	0,9	59,3	734,0	793,2	0,0	32,21088	32,2
15	16	30	0,0	43,8	246,8	46,2	1059,0	67,2	733,4	0,8	57,1	615,5	672,6	0,0	33,553	33,6
16	17	29,8	0,0	34,6	260,5	55,4	1015,6	63,3	576,6	0,8	53,8	457,4	511,2	0,0	32,21088	32,2
17	18	29,1	0,0	25,0	267,6	65,0	941,3	57,5	397,6	0,7	48,9	278,0	326,9	0,0	27,51346	27,5
18	19	27,9	0,0	15,4	256,6	74,6	801,5	48,7	213,5	0,5	41,4	113,5	154,9	0,0	19,46074	19,5
19	20	26,5	0,0	6,3	245,7	83,7	470,2	32,4	51,9	0,3	27,5	13,9	41,4	0,0	10,0659	10,1
20	21	24,8	0,0	0,0	234,3	90,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-1,34212	-1,3
α	γ	S_{ok}	Nadmořská výška		z	t_d	c_0	S	U_{kar}	t_i	S_{kar}	U_{ok}				
[°]	[°]	[m ²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[°C]		[W/m ² K]				
0	180	0	1000		2	0,85	0,85	1	3,77	25	1,78	5,8				

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - podlaha																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny										Zisky prostupem		
		t _e	Q _{p,ok}	h	a	θ	I _{Dk}	I _d	I _D	t _D	I _{d,ok}	I _{D,ok}	I _{ok}	Q _{r,ok}	Q _{prostup}	Q _{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	0,0	0,0	125,7	90,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-89,5752	-89,6
5	6	16,9	0,0	6,3	114,3	83,7	470,2	32,4	51,9	0,3	27,5	13,9	41,4	0,0	-82,4499	-82,4
6	7	18,1	0,0	15,4	103,4	74,6	801,5	48,7	213,5	0,5	41,4	113,5	154,9	0,0	-70,2351	-70,2
7	8	19,5	0,0	25,0	92,4	65,0	941,3	57,5	397,6	0,7	48,9	278,0	326,9	0,0	-55,9845	-56,0
8	9	21,2	0,0	34,6	99,5	55,4	1015,6	63,3	576,6	0,8	53,8	457,4	511,2	0,0	-38,6802	-38,7
9	10	23	0,0	43,8	113,2	46,2	1059,0	67,2	733,4	0,8	57,1	615,5	672,6	0,0	-20,358	-20,4
10	11	24,8	0,0	52,0	130,4	38,0	1084,6	69,7	855,0	0,9	59,3	734,0	793,2	0,0	-2,0358	-2,0
11	12	26,5	0,0	58,1	152,7	31,9	1098,3	71,2	931,9	0,9	60,5	806,2	866,7	0,0	15,2685	15,3
12	13	27,9	0,0	60,4	180,0	29,7	1102,6	71,7	958,2	0,9	60,9	830,4	891,3	0,0	29,5191	29,5
13	14	29,1	0,0	58,1	207,3	31,9	1098,3	71,2	931,9	0,9	60,5	806,2	866,7	0,0	41,7339	41,7
14	15	29,8	0,0	52,0	229,6	38,0	1084,6	69,7	855,0	0,9	59,3	734,0	793,2	0,0	48,8592	48,9
15	16	30	0,0	43,8	246,8	46,2	1059,0	67,2	733,4	0,8	57,1	615,5	672,6	0,0	50,895	50,9
16	17	29,8	0,0	34,6	260,5	55,4	1015,6	63,3	576,6	0,8	53,8	457,4	511,2	0,0	48,8592	48,9
17	18	29,1	0,0	25,0	267,6	65,0	941,3	57,5	397,6	0,7	48,9	278,0	326,9	0,0	41,7339	41,7
18	19	27,9	0,0	15,4	256,6	74,6	801,5	48,7	213,5	0,5	41,4	113,5	154,9	0,0	29,5191	29,5
19	20	26,5	0,0	6,3	245,7	83,7	470,2	32,4	51,9	0,3	27,5	13,9	41,4	0,0	15,2685	15,3
20	21	24,8	0,0	0,0	234,3	90,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-2,0358	-2,0
α	γ	S _{ok}	Nadmořská výška		z	t _d	c ₀	S	U _{kar}	t _i	S _{kar}	U _{ok}				
[°]	[°]	[m ²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[°C]		[W/m ² K]				
0	180	0	1000		2	0,85	0,85	1	3,77	25	2,7	5,8				

Tepelné zisky od vnějších zdrojů - přepážka mezi motorem a kabinou																
Hodina (SEČ)	Hodina (SELČ)	Zisky prostupem okny		Zisky radiací okny											Zisky prostupem	
		t_e	$Q_{p,ok}$	h	a	θ	I_{Dk}	I_d	I_D	t_D	$I_{d,ok}$	$I_{D,ok}$	I_{ok}	$Q_{r,ok}$	$Q_{prostup}$	Q_{suma}
		[°C]	[W]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[-]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W]	[W]	[W]
4	5	16,2	0,0	0,0	125,7	54,3	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	-23,62976	-23,6
5	6	16,9	0,0	6,3	114,3	65,8	470,2	24,6	192,5	0,7	20,9	132,5	153,4	0,0	-21,75012	-21,8
6	7	18,1	0,0	15,4	103,4	77,1	801,5	50,6	179,2	0,5	43,0	84,2	127,2	0,0	-18,52788	-18,5
7	8	19,5	0,0	25,0	92,4	87,8	941,3	74,3	35,4	0,1	63,1	3,6	66,7	0,0	-14,7686	-14,8
8	9	21,2	0,0	34,6	99,5	82,2	1015,6	95,6	137,7	0,3	81,3	43,8	125,1	0,0	-10,20376	-10,2
9	10	23	0,0	43,8	113,2	73,5	1059,0	113,6	301,1	0,6	96,6	167,1	263,7	0,0	-5,3704	-5,4
10	11	24,8	0,0	52,0	130,4	66,5	1084,6	127,3	432,2	0,7	108,2	293,3	401,5	0,0	-0,53704	-0,5
11	12	26,5	0,0	58,1	152,7	62,0	1098,3	135,9	516,4	0,7	115,5	380,0	495,6	0,0	4,0278	4,0
12	13	27,9	0,0	60,4	180,0	60,4	1102,6	138,8	545,5	0,8	118,0	410,4	528,4	0,0	7,78708	7,8
13	14	29,1	0,0	58,1	207,3	62,0	1098,3	135,9	516,4	0,7	115,5	380,0	495,6	0,0	11,00932	11,0
14	15	29,8	0,0	52,0	229,6	66,5	1084,6	127,3	432,2	0,7	108,2	293,3	401,5	0,0	12,88896	12,9
15	16	30	0,0	43,8	246,8	73,5	1059,0	113,6	301,1	0,6	96,6	167,1	263,7	0,0	13,426	13,4
16	17	29,8	0,0	34,6	260,5	82,2	1015,6	95,6	137,7	0,3	81,3	43,8	125,1	0,0	12,88896	12,9
17	18	29,1	0,0	25,0	267,6	87,8	941,3	74,3	35,4	0,1	63,1	3,6	66,7	0,0	11,00932	11,0
18	19	27,9	0,0	15,4	256,6	77,1	801,5	50,6	179,2	0,5	43,0	84,2	127,2	0,0	7,78708	7,8
19	20	26,5	0,0	6,3	245,7	65,8	470,2	24,6	192,5	0,7	20,9	132,5	153,4	0,0	4,0278	4,0
20	21	24,8	0,0	0,0	234,3	54,3	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,53704	-0,5
α	γ	S_{ok}	Nadmořská výška		z	t_d	c_0	S	U_{kar}	t_i	S_{kar}	U_{ok}				
[°]	[°]	[m ²]	[m n.m.]		[-]	[-]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[°C]		[W/m ² K]				
90	180	0	1000		2	0,85	0,85	1	2,74	25	0,98	5,8				

Příloha 3 - Specifikace elektromotoru ASM 260U

Asynchronous Motors with Solid Shaft

ASM 260 Series

Spindle motors with 2 pole pairs
 Rated power output 12 kW to 24 kW
 Choice of standard or spindle bearing

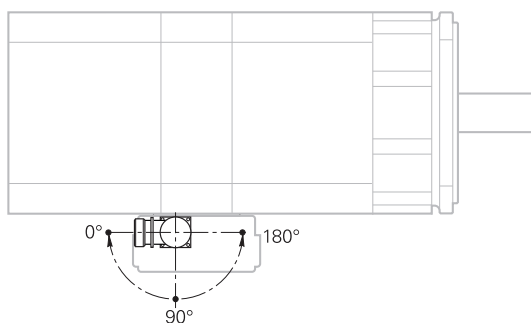



Motor	ASM 260 M	ASM 260 L	ASM 260 U	ASM 260 W
Rated voltage U_N	348 V	331 V	318 V	335 V
Rated power output P_N	15 kW	20 kW	24 kW	12 kW
Rated shaft speed n_N	1 500 min ⁻¹			750 min ⁻¹
Rated torque M_N (105 K)	96.0 Nm	128.0 Nm	153.0 Nm	153.0 Nm
Rated current I_N (105 K)	35.0 A	46.0 A	58.0 A	29.0 A
Efficiency	0.85			
Max. speed n_{max} ¹⁾ Standard bearing Spindle bearing*	8 000 min ⁻¹ 10 000 min ⁻¹ or 12 000 min ⁻¹		8 000 min ⁻¹ 10 000 min ⁻¹	
Max. current I_{max}	70 A	96 A	116 A	62 A
Weight m	112 kg	135 kg	158 kg	158 kg
Rotor inertia J	700 kgcm ²	920 kgcm ²	1 100 kgcm ²	1 100 kgcm ²
Protection	IP 54			
Fan Rated voltage U_L Rated current I_L Frequency f_L	3AC 400 V 0.35 A 50 Hz/60 Hz			
ID Motor with standard bearing Motor with spindle bearing 10 000 min ⁻¹ 12 000 min ⁻¹				

¹⁾ The max. speed depends on the motor's application conditions, such as the shaft load (contact SEM for further details).

* Please select when ordering

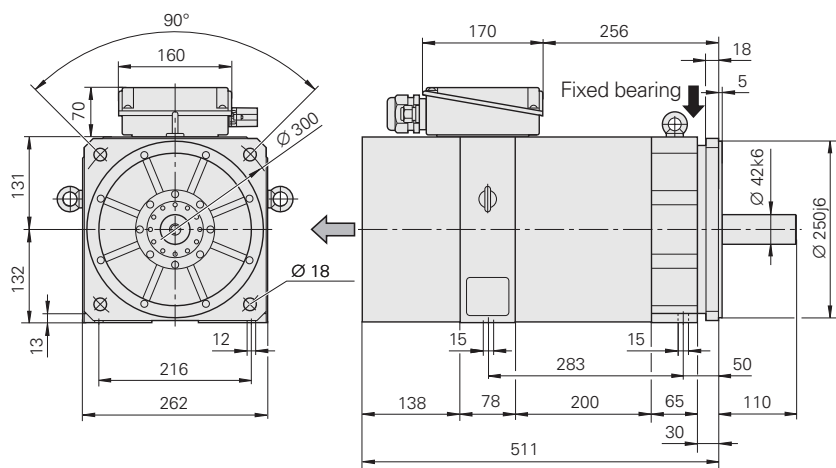
Rotatable connections



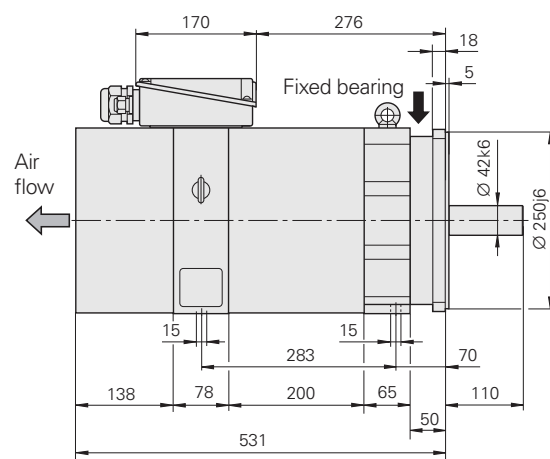
mm

 Tolerancing ISO 8015
 ISO 2768 - m H
 < 6 mm: ±0.2 mm

ASM 260M

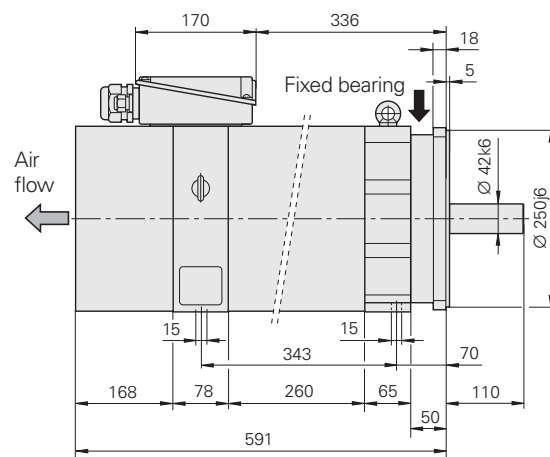
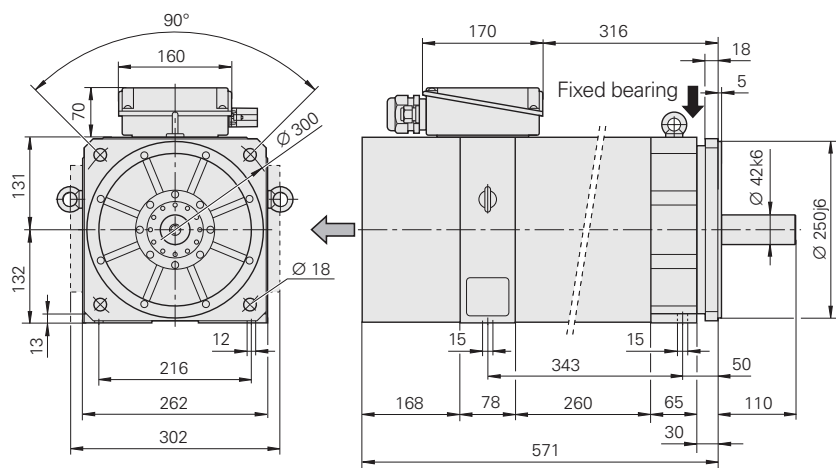
With standard bearing



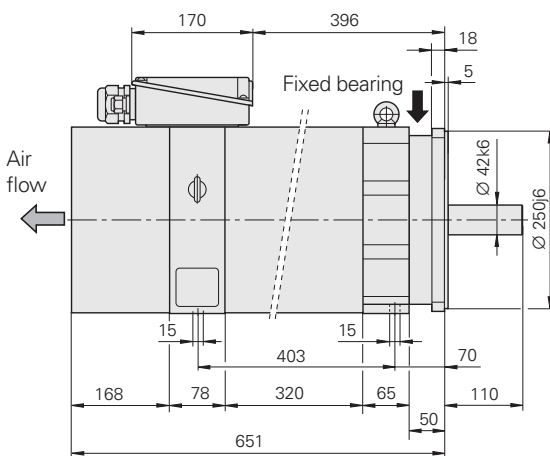
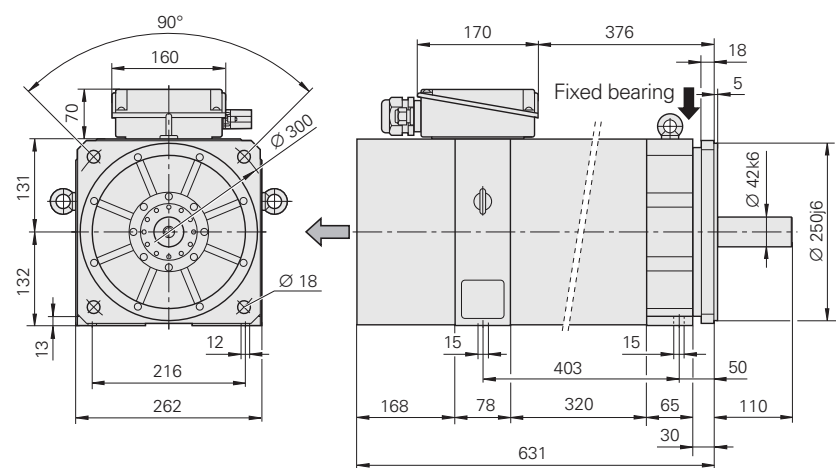
With spindle bearing





ASM 260L



ASM 260U ASM 260W



Příloha 4 - Srovnávací tabulka frekvenčních měničů Siemens Sinamics

	Měnič pro nenáročné pohony nízkého výkonu. SINAMICS G110	Všestranný měnič pro náročné standardní pohony s možností rekuperace SINAMICS G120
		
Stavební provedení měniče	Blokové	Blokové
Charakter měniče	AC/AC	AC/AC modulární
Stupeň krytí	IP20	IP20
Napájecí napětí – rozsahy		
1-fáz. 200 až 240 V AC	0,12 ... 3 kW	0,37 ... 250 kW
3-fáz. 380 až 480 V AC		
3-fáz. 500 až 600 V AC		
3-fáz. 500 až 690 V AC		11 ... 55 kW
3-fáz. 660 až 690 V AC		
3-fáz. 400 až 33 kW AC, napětí motoru 2,3 až 13,8 kV		
3-fáz. 2,3 až 36 kV AC, napětí motoru 2,3 – 4,16 kV		
1/3 fáz 230/400 – 950 V AC		
Druh usměrňovače	Neregulovaný	Neregulovaný
Rekuperace	Ne	Volitelná
Vstupní frekvence	47 ... 63 Hz	47 ... 63 Hz
Výstupní napětí ¹	0 ... U _{vst}	0 ... U _{vst}
Výstupní frekvence	0 ... 650 Hz	0 ... 650 Hz (U/f)
Řízení		
U/f řízení a FCC	Ano	Ano
Vektorové bez/s enkodérem		Ano
Servo bez/s enkodérem		
Motory		
Asynchronní	Ano	Ano
Synchronní		
Momentové		
Lineární		
Stejnoseměrné		
Technologické funkce	Letmý start, restart po výpadku napájení, kompaundní brzdění, DC brzdění, řízení impulsní/hladinové	Letmý start, restart po výpadku napájení, kinetické zálohování, kompaundní brzdění, DC brzdění, dynamické brzdění, BICO technologie, technologický PID, volné funkční bloky
Bezpečnostní funkce		STO, SS1, SLS, SBC
Komunikace	RS485, RS232 (volitelně) s protokolem USS	RS485, RS232 (volitelně) s protokolem USS, volitelně PROFIBUS nebo PROFINET včetně PROFIdrive profilu 4 se specifikací NAMUR nebo PROFIsafe, ModbusRTU, CANopen
Softwarové nástroje		
Typické aplikace/technologie	Standardní U/f aplikace jako čerpadla, ventilátory, dmychadla, dopravníky, ovládání vrat, billboardů a chodníků	Aplikace jako čerpadla, ventilátory, dmychadla, kompresory, dopravníky, odstředivky, drtiče apod.
Katalog	D11.1	D11.1

(převzato z :

http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/menice/_prospekty/srovnavaci-tabulka-sinamics-motory_2011_cz.pdf)

Příloha 5 - Seznam materiálu

Materiál	Potřeba materiálu
Panely opláštění s šířkou 1000mm	37 m
Profily Rexroth 45x45 mm	46,5 m
T-matice šířka 10 mm M8	100 ks
Šroub s vnější šestihrannou hlavou M8x20	34 ks
Šroub s vnější šestihrannou hlavou M8x60	64 ks
Šroub s vnější šestihrannou hlavou M8x70	4 ks
Šroub s vnější šestihrannou hlavou M10x40	4 ks
Šroub s vnější šestihrannou hlavou M10x50	1 ks
Šroub s vnitřní m šestihranem M8x20	4 ks
Šroub s vnitřní m šestihranem M16x40	1 ks
Podložka velká M8	4 ks
Matice M10	4 ks
Bosch Rexroth rohový spojovací profil	44 ks
Bosch Rexroth kloubová spojka	4 ks
Bosch Rexroth pojezdové kolo	8 ks
Elektromotor ASM 260U	1 ks
Frekvenční měnič Siemens Sinamics G120	1 ks
Triakový měnič napětí BEL TRN-5A	5 ks
Topná rohož EKOHEAT WAY 300	7,75 m ²
Zařízení pro úpravu přiváděného vzduchu	1 ks